

# アンテナシステムの設計

藤野義之 濱本直和

STICS に望まれるアンテナシステムの設計について述べる。

## 1 まえがき

STICS は大型展開アンテナを有する S 帯の通信衛星を用いてパーソナル衛星通信を行うシステムである。プロジェクト開始時において、STICS における衛星搭載のアンテナシステムは、アンテナ形式、開口径等の基礎的な情報しか入力されていなかった。一方で、衛星搭載アンテナとしてはその F/D やカバーエリア等の詳細な情報が設計上必要となる。このため、当該研究の実用化を見据えた形でベースとなるアンテナシステムに関し設計を行った。本稿ではこの部分に関して説明を行う。

まず、アンテナ形式としては、離焦点給電フェースドアレーアンテナを 1 次放射器に用い、反射鏡は 30 m クラスの開口の展開型反射鏡 1 面を搭載することが前提であった。このため、想定されるカバーエリアをすべてカバーできる、鏡面の設計が必要であり、特に焦点距離対開口直径比（以下 F/D と略す。）を適切に取ることが必要となった。一方で衛星搭載アンテナとして実現可能な F/D 値があり、これらを勘案して最適な値を求めてきた。

本稿ではまず F/D とカバーエリア、アンテナ利得の関係等についての数値計算について、何例かを記述

する。その検討結果を元に、STICS としてのアンテナのベースラインについて記述を行う。最後に、ベースラインに基づいて 1 次放射器素子配列法や間隔の最適化について検討を行った。

## 2 STICS アンテナのビーム指向特性について

### 2.1 計算に用いた諸元

最初の計算例として、STICS を想定した表 1 の諸元を用いる。なおアンテナ直径は鏡面内接円のポアサイト方向への投影直径として 27 m とし、衛星の東側に図 1 のように搭載されると仮定した。また、ビーム形成のための励振分布は、指定した方向のピーク利得が最大になるように振幅及び位相を最適化した。1 次放射器の位置を焦点位置から反射鏡側に少し移動することでビーム形成を容易にするが、この値をデフォーカス量と定義し、焦点距離の 0～15% に変化させた。

表 1 計算に用いた諸元

衛星軌道位置	東経 132 度
ポアサイト方向	東経 130 度 緯度 28 度 (沖縄付近)
搭載アンテナ位置	軌道上東側
周波数	2.0 GHz
鏡面形状	14 モジュール
内接円電気開口径	27 m
焦点距離	10.8 m (F/D=0.4) ~ 21.6 m (F/D=0.8)
オフセット角	50.3 度
素子数	127
給電素子放射特性	$\cos^{2.4}$
偏波	円偏波
デフォーカス量	焦点距離の 0～15%

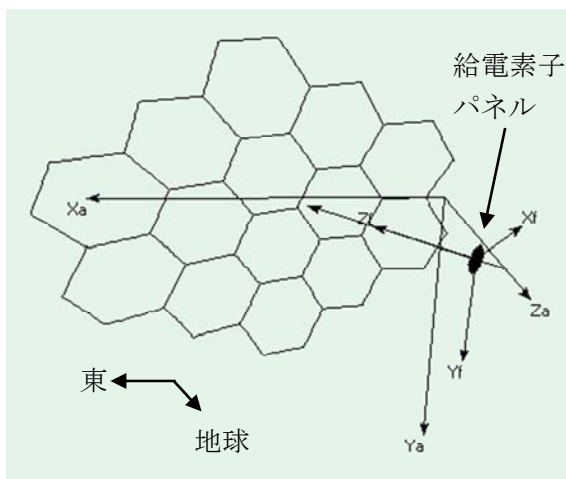


図 1 アンテナ概形図

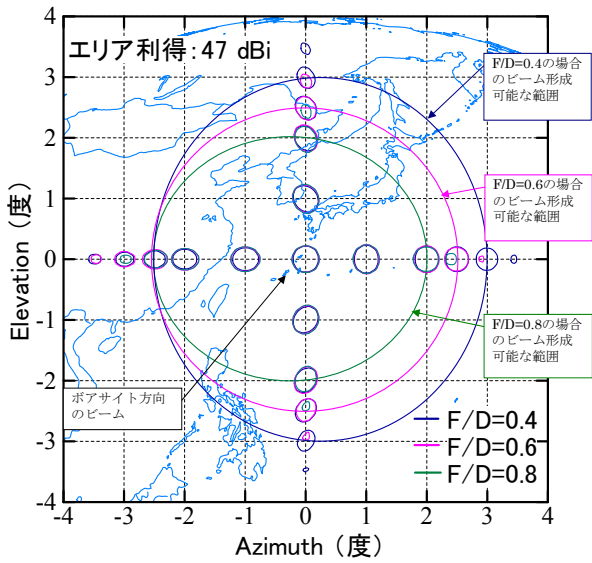


図2 ビーム形成可能な範囲

### 2.2 計算結果

ビーム指向方向範囲の目安として、図2に、デフォーカス量を10%、F/D=0.4, 0.6, 0.8にした場合で、衛星ビーム方向を東西南北に指向させたときのビーム形成が可能なおおよその範囲(エリア利得が47 dBi以上となるボアサイト方向のビームサイズと同程度のサイズのビームを形成できる領域)を示す。図が示すように、ビーム形成可能な範囲はF/D = 0.4で約±3度、F/D=0.6で約±2.5度、F/D=0.8で約±2度になる。

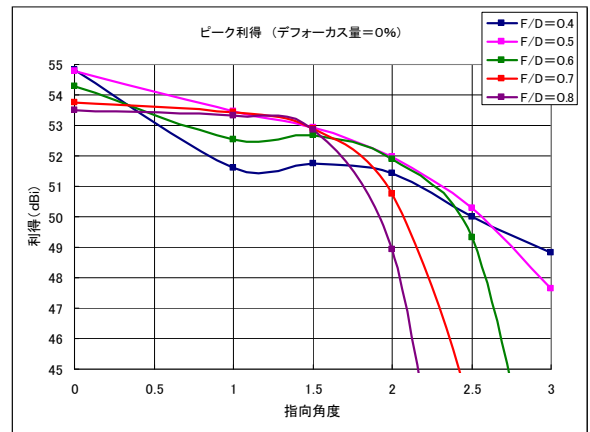
### 2.3 最適パラメータの選定について

図2の結果をより詳細に検討するため、F/D及びデフォーカス量をパラメータにして東に振ったときの各指向方向におけるピーク利得特性(図3)、及びビームに配分可能なEIRP(図4)を求めた。ここで、「ビームに配分可能なEIRP」とは次のような意味を持つ。

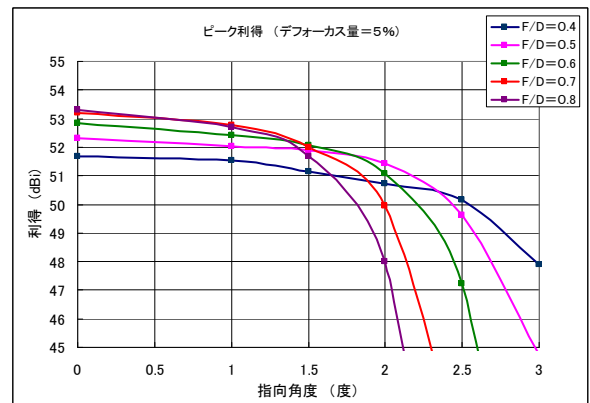
本検討では各指向方向に対するピーク利得を最大にするため、127の各素子の位相のみならず振幅(電力)も最適化する。その結果、各素子に給電される電力は均一ではなくビーム指向方向に依存した電力分布を持つ。1例として、図5にボアサイト及び東西南北2.5度のビーム指向方向における127素子の電力分布を示す(赤色に近づく程電力は大きい)。その結果、1つのビームに対して全送信電力(=SSPA最大電力×素子数)のすべてを配分することはできず、分布を持った素子のSSPA出力の和が限界となる。そこで、各指向方向のビームに対して、

配分可能なEIRP

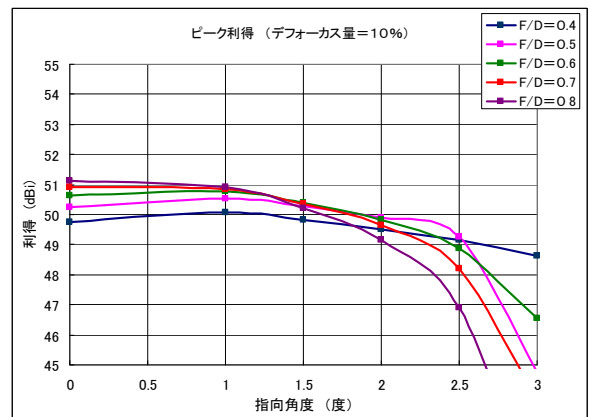
=ビームのピーク利得+各素子の電力分布の和を定義する。



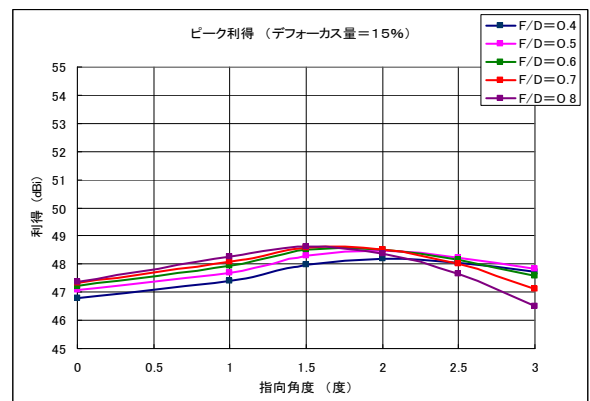
デフォーカス量 = 0%



デフォーカス量 = 5%

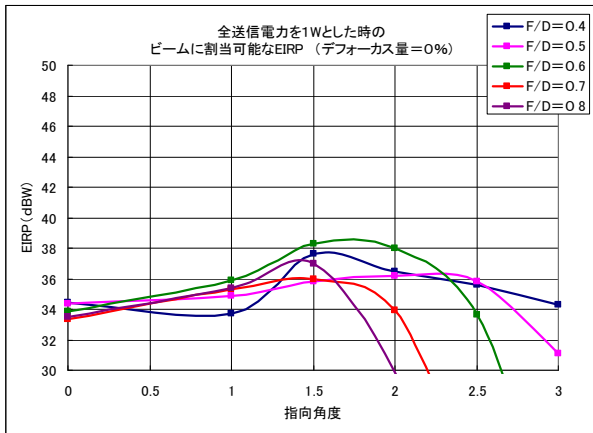


デフォーカス量 = 10%

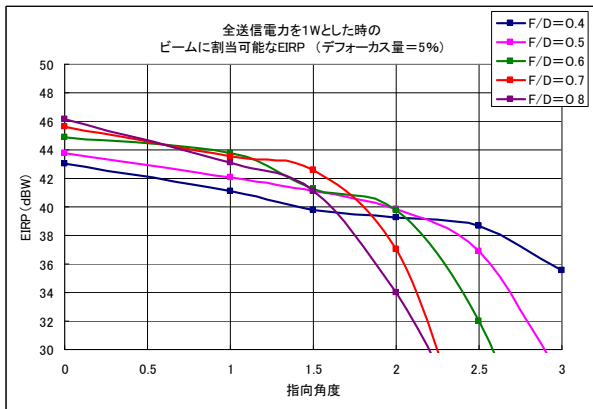


デフォーカス量 = 15%

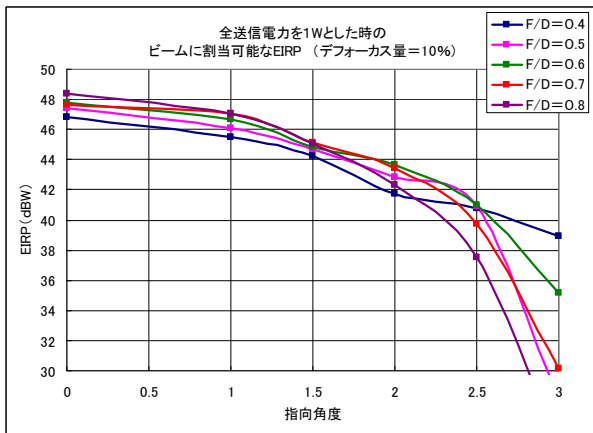
図3 ビーム指向方向に対するピーク利得特性 (F/D及びデフォーカス量をパラメータとする)



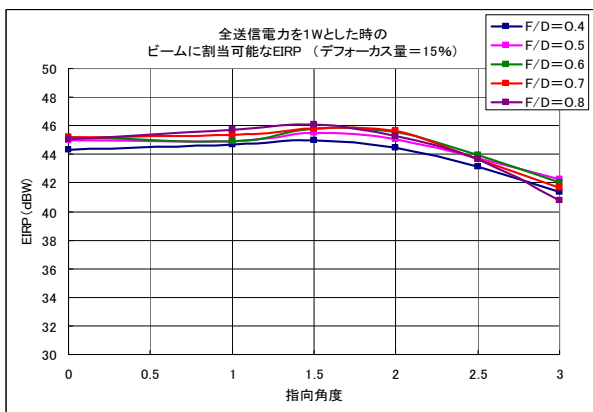
デフォーカス量 = 0%



デフォーカス量 = 5%



デフォーカス量 = 10%



デフォーカス量 = 15%

図4 ビーム指向方向に対する最大 EIRP 特性 (F/D 及びデフォーカス量をパラメータとする)

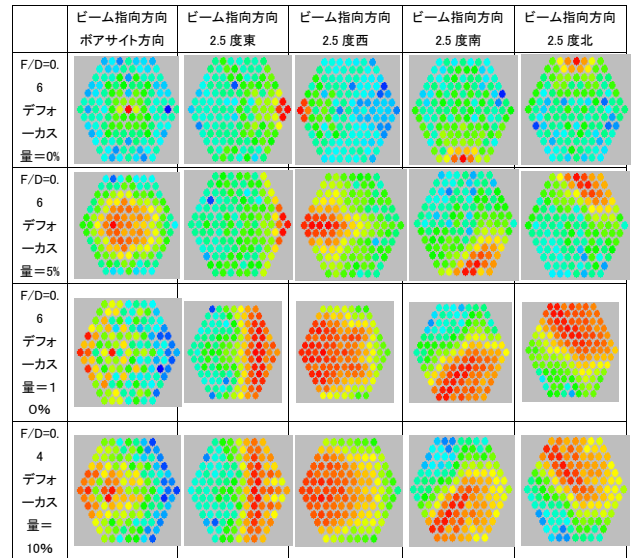


図5 給電素子 (127 素子) の振幅分布 (赤い色ほど電力が大きい)

特に、送信アンテナではアンテナ利得が高くても、配分可能な EIRP が小さい(ビーム形成に寄与する素子が少ない)とそのビームに収容されるチャンネル数が大きく取れないため、送信アンテナの最適パラメータを選定するためには重要なパラメータとなる。なお、本検討では全送信電力(127 素子の総和電力)を 1 W (= 0 dBW) に規格化した EIRP を用いる(例えば、全送信電力が 1 kW の場合は本検討結果に 30 dB を加える)。一方、受信アンテナの場合は、地上端末の所要 EIRP を下げるために、寄与する素子数にこだわらずに搭載アンテナ利得が高い方を優先するべきである。

図2 と図3 から定性的には以下の傾向が見られる。

- 指向方向が約 1.5 度以内では、F/D が大きいほどピーク利得、配分可能な EIRP は高い。
  - デフォーカス量 = 5 ~ 10% で F/D = 0.8 は 0.4 に比べピーク利得は約 1.5 dB 程度、EIRP は 2 ~ 3 dB 高い
- 指向方向が約 1.5 度以上外側では上述と逆転し、F/D が小さいほどピーク利得、配分可能な EIRP は高い。
  - 2.5 度でまともなビームを作るためには、F/D を 0.6 以下、3 度では、F/D を 0.4 以下にすることが望ましい。
- デフォーカス量が小さい程、ピーク利得、配分可能な EIRP は総体的に高くなる
  - しかし、デフォーカス量が小さいと、外側のビームでの急激な利得低下や EIRP の低下がありビーム形成が難しくなる。

以上の結果から、サービスエリアの条件やアンテナ利得、1 ビーム当たりの最大チャンネル数、送受共用



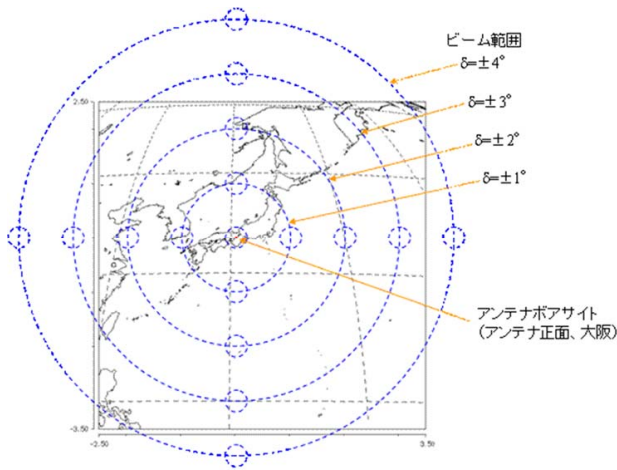


図6 ビーム形成領域

を考慮して最適パラメータを決める必要があるが、適度なサービスエリアと利得としては、 $F/D = 0.5 \sim 0.6$ 、デフォーカス量 = 10% 前後が1つの目安になると思われる。

### 3 給電アレー直径を小さくするための検討

地上／衛星共用携帯電話システムに最適な  $F/D$  や、オフセット角の最適化の評価を行った。ビーム形成領域を  $\pm 2^\circ$  とした場合、オフセット角  $60^\circ$ 、 $F/D=0.4$  程度が、給電アレーの直径が最小となる最適な値であることが分かった。この値は、ETS-VIIIにおける  $F/D$  の値 (0.8) より小さい値であり、ETS-VIIIよりも良好な特性を示すことが確認できた。この評価結果の詳細を以下に示す。

#### 3.1 ビーム形成に関する検討

ユーザ側で必要とされるサービスエリア (以下ビーム形成領域) に対して給電アレーが最小となる展開鏡面のオフセット角や、 $F/D$  の最適化の検討を行った。なお、オフセット角と  $F/D$  は1対1の関係があり、どちらかが決まるともう1つは決定される。

本節での検討は、開口径は 30 m、ビーム径は  $0.4^\circ$ 、EOC 利得 47 dBi としている。図6に大阪をポアサイト方向とし、最大ビーム走査角 (ビーム形成領域) を変えた場合の領域を示す。図7にビーム形成領域を変化させた場合のオフセット角に対する給電アレー径の関係を示す。ビーム形成領域を大きくすると、大きな給電アレー径が必要となることが分かる。同じオフセット角で比較すると、ビーム形成領域に対して給電アレー径がほぼ比例していることが分かる。幾何学的にはビーム形成領域  $\delta$  に対して給電アレー径は

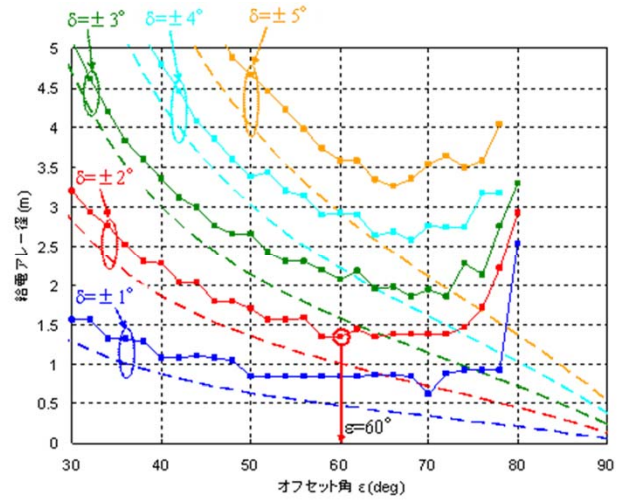


図7 オフセット角に対する給電アレー径 (ビーム形成領域を変化させた場合)

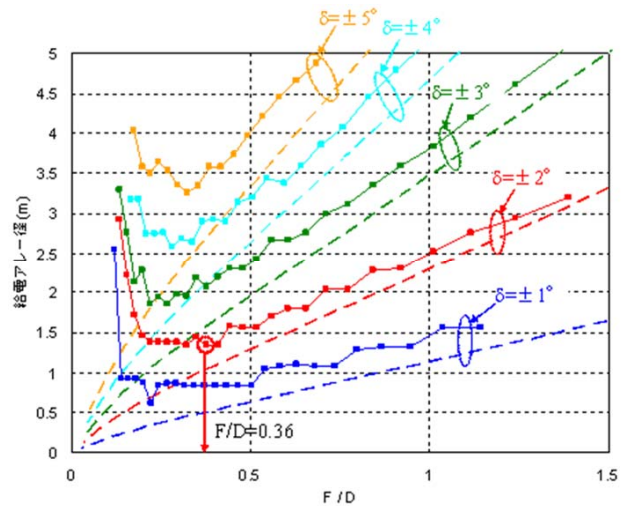


図8  $F/D$  に対する給電アレー径 (ビーム形成領域を変化させた場合)

$\delta = \pm 2^\circ$  に比例するが、波動的にも同程度の関係があることが分かる。オフセット角が  $60^\circ$  から  $70^\circ$  程度で給電アレー径が最小となり、ビーム形成領域が大きくなると最小となるオフセット角が多少大きくなる傾向が分かる。また、オフセット角から  $F/D$  (焦点距離／開口径) は一意に決まるため、図8に横軸を  $F/D$  としたものを示す ( $D=30$  m 一定)。オフセット角を大きくすると焦点距離が短くなるため、大きなオフセット角は小さな  $F/D$  に相当する。よって、ビーム形成領域  $\tan \delta$  の場合に選定したオフセット角  $60^\circ$  は  $F/D$  で 0.36 に相当する<sup>[1][2]</sup>。

ここでの鏡面設計は、給電アレーの搭載性、素子数低減の観点から、給電アレーを最小化するという条件の下で設計した。一方、反射鏡の構造的な観点からは、

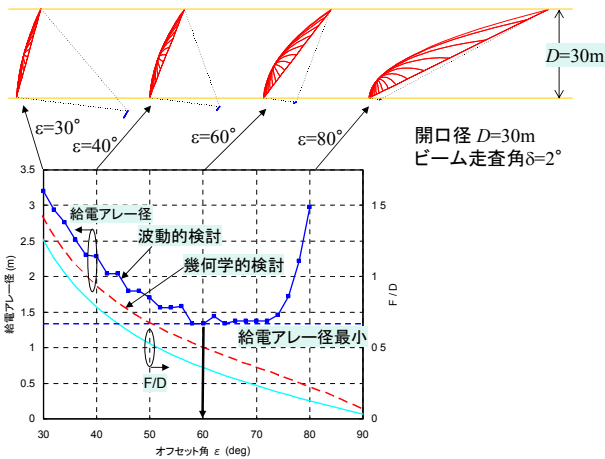


図9 オフセット角とF/Dの最適化と鏡面形状

焦点距離が短くなると鏡面の曲率が大きく（鏡面が深く）なり、オフセット角が大きくなると、アンテナボアサイト方向から見た電気的開口径に対し物理的な鏡面サイズが大きくなる。この説明図を図9に示す。これら総合的な観点から最適な鏡面形状を検討していく必要がある<sup>[3]-[8]</sup>。

本節の検討はデフォーカス量をゼロとしているために、給電方法がクラスタ給電に近い。このため、1ビームの形成に要する素子数が少なく、冗長性の観点で問題が生じる可能性がある。

#### 4 給電部ベースライン

以上の検討例から、STICSについて、給電部に関する各機関（衛星開発メーカ、衛星通信事業者、JAXA、NICT等）で共通として以下の認識に至った。表2にそのベースラインを示す。

カバーエリアに関しては $\pm 2^\circ$ （最小値）、 $\pm 4^\circ$ （目標値）とした。また、いずれの場合でも南鳥島のカバーが問題となるため、これらを勘案しておくことが必要である。F/Dについては、電気的には3での検討の通り、0.36~0.4程度が適当であるが、ETS-VIIIにおいて検証されたF/Dが0.8であり、これを一挙に0.4程度とすることには衛星搭載上の問題点があると考えられる。すなわち、図9に示すように、鏡面の曲率が非常に大きくなるため、収納時の衛星構体への収納性が悪く、展開時のリスク等が大きいことが想定される。このため、F/Dとして0.6を前提として以降の検討を実施することとした。また、離焦点距離としては、0.5mから1mとした。アンテナ利得はSTICSの回線が成立する47 dBiとマージンを考慮して49 dBiとした。給電素子数は大きいとSSPAの数が増加し、結果的に衛星の成立性に影響を及ぼすため、少ないに越した

表2 給電部ベースライン

(1) カバーエリア	$\pm 2^\circ$ （最小値）、 $\pm 4^\circ$ （目標値） 南鳥島を考慮しておく
(2) F/D	0.6
(3) 反射鏡開口径の内接円直径	27 m $\phi$
(4) 離焦点距離	0.5~1 m
(5) 補償機能の範囲	1ビーム分以上
(6) アンテナ利得	最低47 dBi以上。設計上49 dBiを目安とする。
(7) 給電素子数	最大(127/130/144)素子とする。
(8) 素子間隔	120 mmを最小とするが実現性を考慮して最適解を見出す。
(9) 陸域/海域の利得分割	陸域、海域の利得分割はせずキャパシティ（周波数帯域幅）に差をつける。海域でのアンテナは陸域と同じとする
(10) サイドロープレベル	
(10)-1 自システム内サイドロープのC/Iレベル	20 dB以上
(10)-2 隣接帯域へのサイドロープレベル	TBD
(11) EIRP	衛星全体の送信電力は2 kW程度を目安とする。災害時には特定のビームに能力を集中できること。
(12) G/T	21 dB/K程度
(13) 給電素子放射パターン近似式	$\cos^{1.7}$ （電界表記、120 mm径の場合の暫定式）

ことはないが、最大値として144程度の値とした。また、海域陸域で所要利得に差をつけるということはないこととした。これは、海陸の双方で共通の地上アンテナを使うことができるためである。ただし、海陸に関してはチャンネル容量（帯域幅）に差をつけることで成立性を確保することとした。

#### 5 一次放射器の開口面積最適化に関する検討

##### 5.1 前提条件

4のベースラインに沿って、離焦点距離を0.8 mとした場合の一次放射器の構成、特にその開口面積を最適化し、ビーム特性の所望値を満たした上で、一次放射器素子の数をなるべく減少させることで、後段のデジタル中継器部のコストを低減させる必要がある。

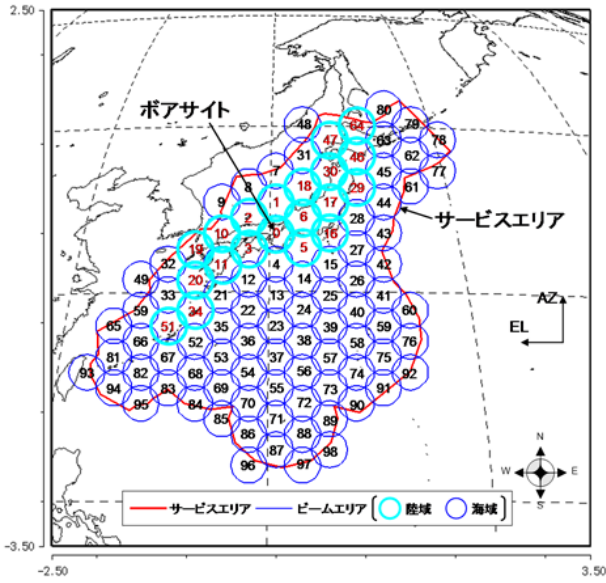


図 10 サービスエリアとビーム配置

このために開口面積を最適化した送受共用放射素子について、素子径、素子間隔、素子配列を評価した。<sup>[9][10]</sup>

## 5.2 検討内容

100 素子 100 ビーム級を想定した衛星搭載送受共用小型高密度実装フェーズドアレー給電部を開発するにあたり、更なるアンテナ性能向上を目的として、開口面積をアレー素子間隔で定義される面積に最適化した送受共用放射素子の検討を実施する。本節では、5.1 の前提条件を受けて、開口面積最適化送受共用放射素子の評価の流れを説明する。

衛星に搭載する際に重量及び制御回路の複雑さ低減のため、給電アレー全体で最小の素子数となる素子配列(三角配列・四角配列)・素子間隔について検討する。その際、図 10 に示す日本本土及び排他的経済水域における 99 ビーム(陸域:20 ビーム、海域:79 ビーム、本検討において陸域・海域は区別しない)で検討する。図 10 に示すエリアに 100 ビーム程度を配置することから、各ビーム径は 0.4deg、ビーム間隔 0.346deg で正三角配列となる。衛星は東経 136°の静止軌道とし、アンテナの正面方向(ボアサイト)は大阪方向(東経 135.5°、北緯 34.6°)のビームとする。給電アレーの各素子は、各ビームにおける受信帯域での最小利得が目標利得を満足するように決定する。

アンテナ方式は、4 の給電部ベースラインの検討を受けて、図 11 に示す離焦点給電のアレー給電パラボラアンテナとする。ビーム径に対応して開口径を 27 m、F/D を 0.6 とするオフセットパラボラ反射鏡とし、給電アレーは鏡面の焦点から 0.8 m 鏡面側に離焦点した位置に配置する。アレーの素子配列は、三角配

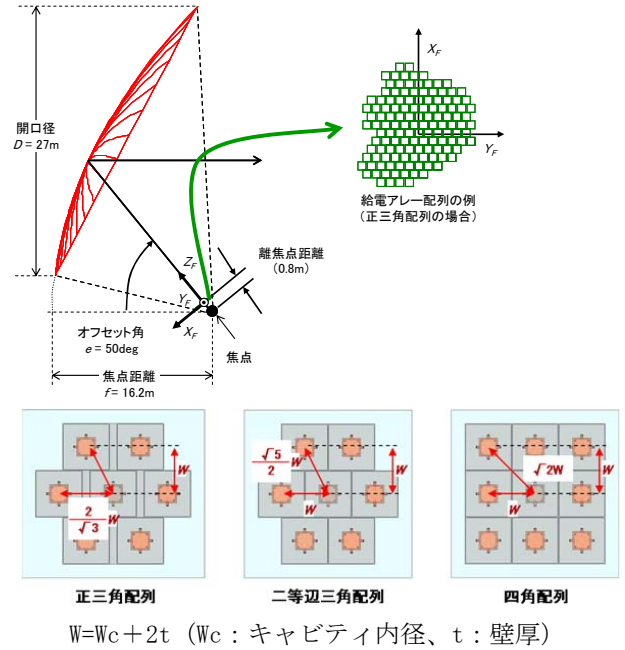


図 11 アレー給電反射鏡アンテナ

列及び四角配列とする。本検討において素子形状は正方形のキャビティ装荷パッチアンテナとし、素子間に隙間の生じる正三角配列及び素子間に隙間のない二等辺三角配列・四角配列を想定する。図 11 において、W は素子の中心間距離を示しており、キャビティ内径  $W_c$  と壁厚  $t$  の和である。 $W_c$  は 120 mm ~ 220 mm までの範囲で検討する。

$$W = W_c + 2t \quad (W_c: \text{キャビティ内径}, t: \text{壁厚})$$

次に検討の流れを示す。1~4 の手順はそれぞれの素子配列・素子間隔に対応して検討する<sup>[10][11]</sup>。

最初に「(1) 素子アンテナの概略検討」として、素子配列・素子間隔に対応するアレー状態における素子パターンを計算する。まず、素子の占有面積に対して、利得が最大となるように素子の形状を概略設計し、その素子をアレー状態に配列してアレー素子パターンを計算する。

次に、「(2) 給電アレーの励振係数の最適化」として、1 で計算したアレー素子パターンを用いて各素子の反射鏡を介した放射パターンを計算する。その各素子の放射パターンを合成し、各ビーム方向で目標の利得が得られるように各素子の励振係数を数値的に最適化する。

次に、「(3) 給電アレー素子数の最適化」として、所望の利得が得られる最小の素子数を決定する。2 の検討においては、十分に多くの素子を用いてビームを形成するが、励振振幅の小さい素子を取り除き、各ビームで目標の利得が得られる最小の素子数を決定する。給電アレー全体は、各ビームに対する素子の和集合と



することにより、各ビームで目標利得が得られる最小の給電アレー全体の素子数を計算する。

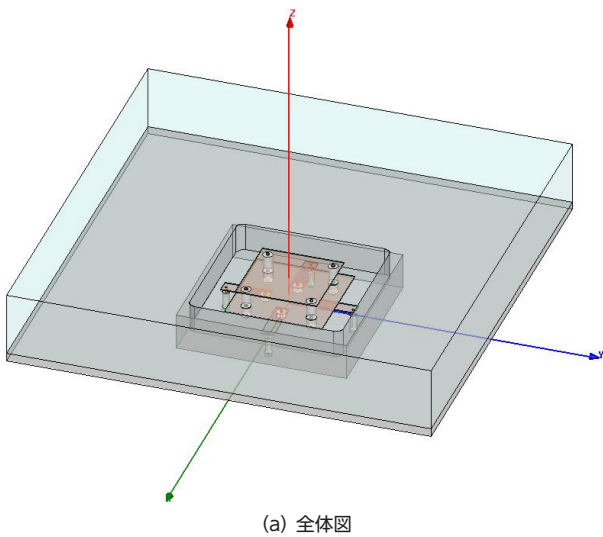
さらに、「(4) 最適な素子径を決定」において、給電アレー素子数を最小とする観点で最適な素子径(素子間隔・素子配列)を決定する。

### 5.3 放射素子の実現性検討

ここでは、素子間隔(素子径)に対して利得が最大となる送受共用放射素子の実現性の検討を行う。ここでアンテナ効率、規定された素子間隔及び素子配列で定義される1素子あたりの物理開口面積と、当該素子の指向性利得で規定される実効開口面積の比で定義し、指向性利得は隣接素子が存在するアレー状態での値とする。

#### (1) 素子単体における検討

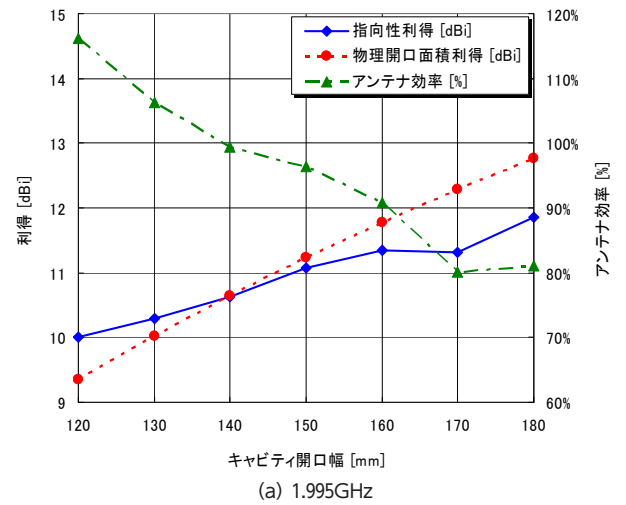
図12に放射素子であるキャビティ付近接結合給電パッチアンテナの構造を示す。キャビティ開口幅を $W_c$ とし、これを大きくすると、物理開口面積が大きくなるとともに、指向性利得の増加により、実効開口面積も増加する。このときの $W_c$ と指向性利得及びアンテナ効率の関係を図13に示す。ここでの放射効率は、アレー状態において規定された素子間隔及び素子配列で定義される1素子あたりの物理開口面積から算出される指向性利得(以降、物理開口面積利得と呼ぶ)



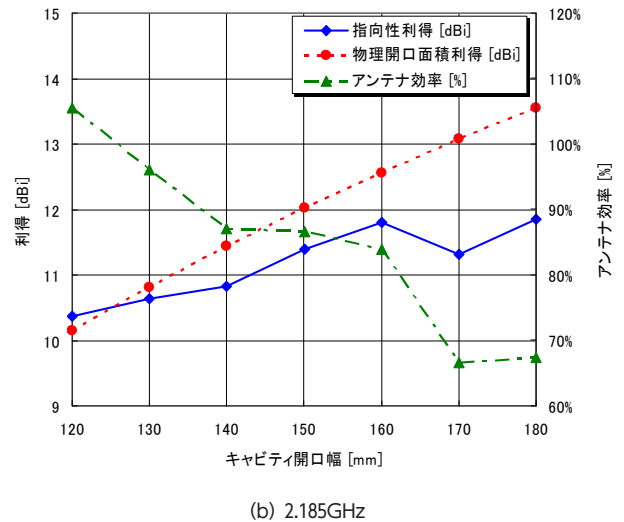
(a) 全体図

図12 キャビティ付近接結合給電パッチアンテナのモデル

と、素子単体の指向性利得の比である。ここでの検討は素子単体での評価であるので厳密には本節前文に示したアンテナ効率の定義とは異なる。ただし、素子間結合や実効開口面積の重なり(素子間隔が小さい場合)によりアレー状態の利得は単素子での値に比べて小さくなる傾向にあるため、一次評価として有効である。図13から、 $W_c$ が170mm以上の場合はアンテナ効率70%以上が得られないことが分かる。したがって、キャビティ開口幅として160mmが第1候補となる<sup>[12]</sup>。



(a) 1.995GHz



(b) 2.185GHz

図13 キャビティ開口幅と指向性利得、アンテナ効率の関係

表3 アレー状態における指向性利得とアンテナ効率の計算結果

	1.995 GHz			2.185 GHz		
	指向性利得 [dBi]	物理開口面積利得 [dBi]	アンテナ効率 [%]	指向性利得 [dBi]	物理開口面積利得 [dBi]	アンテナ効率 [%]
四角配列	11.40	11.75	92.2	11.62	12.54	80.9
正三角配列	11.30	12.38	78.1	11.87	13.17	74.2
二等辺三角配列	11.11	11.75	86.3	11.66	12.54	81.6

(2) アレー状態における検討

次に、 $W_c=160\text{ mm}$  のアレー状態における利得を評価する。素子配列は図 11 に示すように正三角配列、二等辺三角配列、四角配列の 3 種類とする。それぞれの素子配列におけるアンテナ効率を表 3 に示す。正三角配列のみ隣接素子の間隔が他より大きいいためアンテナ効率が低くなるが、いずれの素子配列においてもアレー状態におけるアンテナ効率 70% 以上となっており、 $W_c=160\text{ mm}$  において満足できる値となる見通しが得られた。

5.4 最適な素子径、素子間隔及び素子配列の検討

本節では、給電アレー全体の素子数を最小となる最適な素子径 (素子間隔・素子配列) を決定する。

前節で検討した素子を配列して給電アレーを構成し、給電アレーの各素子単体を励振したときの反射鏡を介した放射パターンを計算する。その各素子の反射鏡を介した放射パターンを合成し、各ビーム内で最小の利得が目標の利得以上となるように各素子の励振係数 (振幅・位相) を数値的に最適化する。

各素子の放射パターンとしては、前項にて解析したアレー状態の放射パターンを用いる。素子の放射パターンはおおむね回転対称であるため、 $15^\circ$  間隔のカット面の放射パターンを周方向で平均したパターンを用いる。

反射鏡を含むアンテナ全体の利得は、給電アレー全体の主偏波の放射パターンを積分し規格化する。また、素子単体で主偏波・交差偏波のパターンを積分し、偏波損を計算する。前節での放射パターンの絶対値は指向性利得であり、円偏波励振回路等の給電回路損、素子の反射損、隣接素子との結合損として、0.5 dB の損失を考慮する。

次に、所望の利得が得られる最小の素子数を決定する。前段階の検討においては、十分に多くの素子を用いてビームを形成するが、励振振幅の小さい素子を取り除き、各ビームで目標の利得が得られる最小の素子

数を決定する。給電アレー全体は、各ビームに対する素子の和集合とすることにより、各ビームで目標利得が得られる最小の給電アレー全体の素子数とする。

以上の検討をそれぞれの素子配列・素子径について実施し、給電アレー素子数を最小とする観点で最適な素子径を決定する。

図 14 に、素子間隔 (素子径) に対する各素子配列 (正三角配列、二等辺三角配列、四角配列) での給電アレーの素子数を示す。“-” で示した箇所は、目標利得を達成できない。このとき、目標利得を RX 帯 (1,995 MHz) で 47 dBi とした。アレー給電反射鏡アンテナにおいて、ビーム範囲 (カバーエリア) と給電アレーの大き

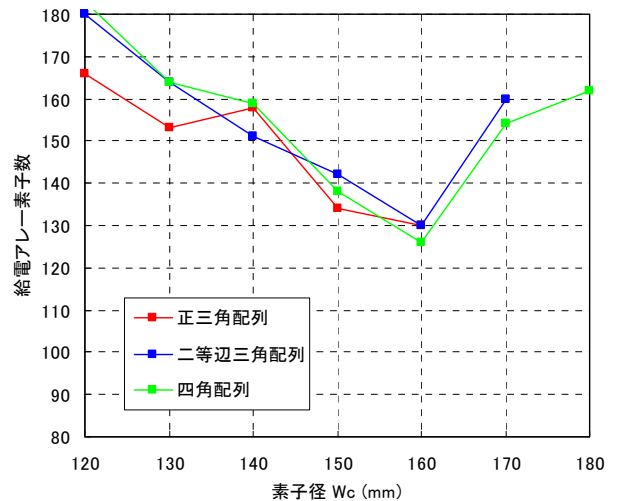
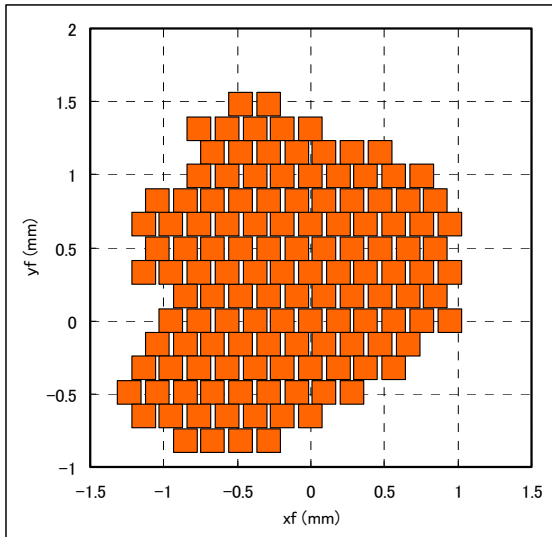


図 14 素子径に対する給電アレー素子数

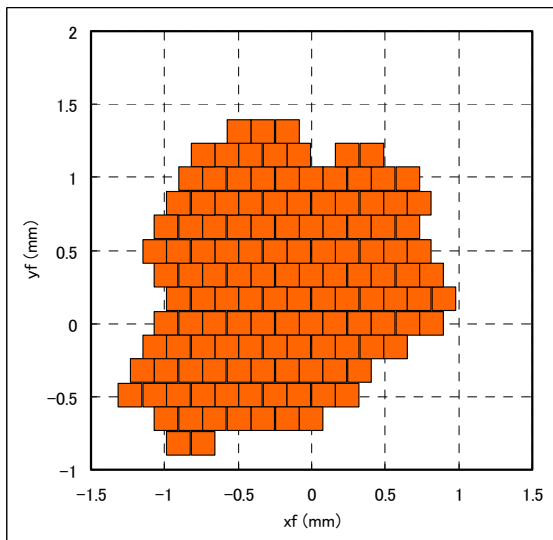
表 4 電気特性評価結果

項目	計算値	測定値
反射特性	-19.3 dB 以下	-16.7 dB 以下
偏波	左旋円偏波	左旋円偏波
ピーク利得 (指向性利得)	1. 995 GHz : 11.1 dBi 2. 185 GHz : 11.5 dBi	1. 995 GHz : 10.9 dBi 2. 185 GHz : 11.4 dBi
放射効率 (給電回路の損失を含む)	-	1. 995 GHz : -0.40 dB 2. 185 GHz : -0.21 dB
軸比 3 dB 以下となる角度範囲	1. 995 GHz : $66^\circ$ 2. 185 GHz : $50^\circ$	1. 995 GHz : $74^\circ$ 2. 185 GHz : $46^\circ$

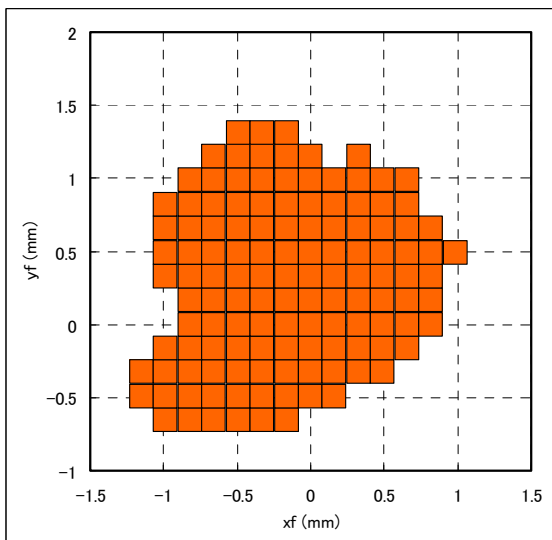




(a) 正三角配列 (130 素子)



(b) 二等辺三角配列 (130 素子)



(c) 四角配列 (126 素子)

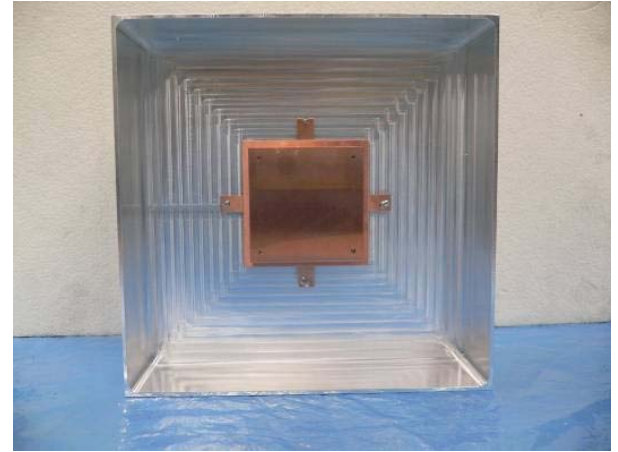
図 15  $W_c=160\text{mm}$  における素子配列

図 16 試作放射素子の外観写真

さは対応しており、素子径を大きくすると同じ給電アレーの大きさに対する素子数(同じ範囲にビームを形成するための素子数)が少なくなる。しかし、前節で示したように素子を大きくしていくと各素子の専有面積に対する利得(アンテナ効率)が低下するため、図 14 で  $W_c=160\text{ mm}$  以上では素子数が多くなるか、目標の利得が得られなくなる。特に正三角配列においては、素子間に隙間があるため素子径が小さいときは少ない素子数で目標の利得を満足できるが、素子径が大きくなるとアンテナ効率が他の素子配列よりも低く給電アレーの素子数を増やしても目標の利得を満足できない。いずれの素子配列でも素子径  $W_c = 160\text{ mm}$  のとき、給電アレー素子数は最小となった。図 15 に  $W_c=160\text{ mm}$  における素子配列を示す。

これの結果に基づいて、 $W_c=160\text{ mm}$  の放射素子を試作した。この写真を図 16 に示す。

また、表 4 に試作放射素子の反射特性、放射特性の測定結果と計算値の比較をまとめて示す。

指向性利得の測定値は、計算値に対して  $1.995\text{ GHz}$  で  $0.2\text{ dB}$ 、 $2.185\text{ GHz}$  で  $0.1\text{ dB}$  の差異となっている。今回の試作ではアレー素子パターンの実測による評価はできないが、アレー素子パターンの計算値に上記のアンテナ単体における計算値との差異を考慮すると、表 5 のようになる。この結果から、アンテナ効率  $70\%$  以上の目標を満足できる見通しである。

## 6 まとめ

本稿ではまず  $F/D$  とカバーエリア、アンテナ利得の関係等についての数値計算についての検討を複数行い、その検討結果を元に、STICS としてのアンテナのベースラインを検討した、カバーエリアとしては  $\pm 2^\circ$  を最小値とし、 $\pm 4^\circ$  を目標値とした。また、 $F/D$  に

### 3 地上／衛星間干渉回避及び周波数割当技術

表 5 測定値と計算値の差異を考慮したアレー状態における指向性利得とアンテナ効率見積り

	1.995 GHz			2.185 GHz		
	指向性利得 [dBi]	物理開口面積利得 [dBi]	アンテナ効率 [%]	指向性利得 [dBi]	物理開口面積利得 [dBi]	アンテナ効率 [%]
四角配列	11.20	11.75	88.1	11.52	12.54	79.0
正三角配列	11.10	12.38	74.5	11.77	13.17	72.5
二等辺三角配列	10.91	11.75	82.4	11.56	12.54	79.8

については0.6を基本とすることとした。

最後に、ベースラインに基づいて1次放射器の素子配列法や間隔の最適化について検討を行い、離焦点距離0.8mの場合の素子として、素子間隔160mm程度の素子が最適であることを示した。

### 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。関係各位に感謝する。

### 【参考文献】

- 1 山本 伸一, 内藤 出, 宮下 裕章, “離焦点アレー給電反射鏡アンテナにおける励振素子範囲の検討”, 2008年電子情報通信学会総合大会, p.140, B-1-140, 2008年3月.
- 2 山本 伸一, 稲沢 良夫, 内藤 出, “離焦点アレー給電反射鏡アンテナにおける素子数とEOC利得の関係”, 2008年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 通信講演論文集I, p.169, B-1-169, 2008年9月.
- 3 藤野 義之, 浜本 直和, 蓑輪 正, 鈴木 龍太郎, 辻 宏之, 内藤 出, 山本 伸一, 住吉 秀夫, 小西 善彦, 名取 直幸, “アレー給電反射鏡アンテナにおけるビーム走査範囲に対する給電アレー径の検討”, 2009年電子情報通信学会総合大会, p.335, B-3-17, 2009年3月.
- 4 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 鈴木 龍太郎, 辻 宏之, 山本 伸一, 内藤 出, 住吉 秀夫, 小西 善彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星におけるアンテナ方式の検討”, 2009年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, p.280, B-3-28, 2009年9月.
- 5 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 鈴木 龍太郎, 稲沢 良夫, 内藤 出, 小西 善彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星におけるアンテナ方式の検討”, 電子情報通信学会衛星通信研究会, pp.31-35, SAT2009-59, 2010年2月.
- 6 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 鈴木 龍太郎, 稲沢 良夫, 内藤 出, 小西 善彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星におけるアレー給電反射鏡アンテナの給電アレー位置の検討”, 2010年電子情報通信学会総合大会, p.321, B-3-8, 2010年3月.
- 7 Yoshiyuki Fujino, Naokazu Hamamoto, Amame Miura, Ryutaro Suzuki, Yoshio Inasawa, Izuru Naito, Yoshihiko Konishi, and Naoyuki Natori, "Tradeoff Study on Array-Fed Reflector Antennas for 100-Beam-Class Multibeam Communications Satellite," International IEEE AP-S Symposium, 512.3, July 2010.
- 8 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 織笠 光明, 鈴木 龍太郎, 稲沢 良夫, 内藤 出, 舟田 雅彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星向けアレー給電反射鏡アンテナの励振条件の比較”, 電子情報通信学会衛星通信研究会, pp.41-46, SAT2010-36, 2010年8月.
- 9 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 織笠 光明, 鈴木 龍太郎, 稲沢 良夫, 内藤 出, 舟田 雅彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星向けアレー給電反射鏡アンテナの励振条件の比較”, 2010年電子情報通信学会ソサイエティ大会, p.288, B-3-17, 2010年9月.
- 10 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 織笠 光明, 若菜 弘充, 柳 崇, 小島 央任, 舟田 雅彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星向けアレー給電反射鏡アンテナの最適素子数に関する検討”, 2011年電子情報通信学会ソサイ

エティ大会, p.286, B-3-4, 2011年9月.

- 11 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 織笠 光明, 若菜 弘充, 柳 崇, 稲沢 良夫, 舟田 雅彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星向けアレー給電反射鏡アンテナの素子サイズの最適化の検討”, 2012年電子情報通信学会総合大会, p.323, B-3-29, 2012年3月.
- 12 藤野 義之, 浜本 直和, 三浦 周, 織笠 光明, 若菜 弘充, 柳 崇, 稲沢 良夫, 舟田 雅彦, 名取 直幸, “超マルチビーム通信衛星向けアレー給電反射鏡アンテナの素子サイズの最適化の検討”, 電子情報通信学会衛星通信研究会, pp.49-54, SAT2012-16, 2012年7月.



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

濱本直和 (はまもと なおかず)

有人宇宙システム株式会社宇宙機システム部  
主幹技師／元新世代ワイヤレスネットワーク  
研究センター推進室研究マネージャー(2006  
年4月～2012年3月)  
衛星通信