

# 地上衛星共用携帯電話システム用搭載アンテナの 反射鏡と DBF/チャネライザ組み合わせ試験

織笠 光明<sup>†</sup> 藤野 義之<sup>†</sup> 辻 宏之<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 独立行政法人 情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

E-mail: <sup>†</sup> t.oriyasa@nict.go.jp

あらまし 筆者らは地上衛星共用電話システム(STICS)について研究・開発を進めてきた。このシステムは特に災害時に有効なシステムである。これを実現するためには大型のアンテナが必要であり、開口が 30m φ クラスのアンテナを検討してきた。このアンテナは展開鏡面（メッシュ鏡面）とフェーズドアレー給電部で構成され、マルチビームを形成する。開発した DBF/チャネライザを用いてメッシュ反射鏡アンテナのパターンを測定してアンテナの基礎検討・評価したので報告する。

キーワード アンテナ, STICS, フェーズドアレー, DBF

## Experiment of satellite antenna with reflector and DBF/channelizer for STICS

Teruaki ORIKASA<sup>†</sup> Yoshiyuki FUJINO<sup>†</sup> and Hiroyuki TUJI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NICT 4-2-1, Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo, 184-8795 Japan

E-mail: t.oriyasa@nict.go.jp

**Abstract** We have been researching and developing the STICS (Satellite / Terrestrial Mobile Communication System) . This communication system will be especially useful for emergency communications during disasters. For this system, a large satellite antenna is necessary and then we have been studying the satellite antenna with approximately 30m aperture size. This antenna consists of deployable reflector and phased array feed, and performs the multi beam formation. For studying this antenna, array feed weighted by digital beam forming network (DBF)/channelizer is developed. In this paper, radiation patterns of this feed with mesh reflector are measured and studied for fundamental experiment of antenna with DBF/channelizer.

**Keyword** Antenna, STICS, Phased array, DBF

### 1. まえがき

筆者らは地上／衛星共用電話システム(Satellite / Terrestrial Integrated Mobile Communication System, STICS)の研究・開発を進めている[1]。このシステムを実現するためには衛星搭載アンテナは重要な技術であり、開口径 30m クラスのアレー給電反射鏡アンテナを検討している。給電部はフェーズドアレーを構成し、各素子にはデジタルビームフォーミングネットワーク／デジタルチャネライザ(DBF/チャネライザ)を介して給電される。アンテナはマルチビームを形成し、想定する規模は 100 素子 100 ビームの給電部を検討している。アレー給電反射鏡アンテナは技術試験衛星 VIII 型(ETS-VIII)で用いられ、アンテナ特性に関する実験および評価を実施してきた[2],[3]。このアンテナはアレーの素子数が 31 でビームは数ビーム程度と STICS 比べ小規模であるが、軌道上における大型反射鏡アンテナの特性に関する課題を検証してきた。STICS を実現するためには搭載アンテナの高機能化が必要であり、STICS ではビームフォーミングネットワークをアナログからデジタルに変えて、細かなサービスが提供でき

るアンテナを開発している。そこでまず小規模な DBF/チャネライザおよび給電アレー素子を開発して機能評価を実施した[4]。また実際に反射鏡と組み合わせた試験を実施してアンテナの基本機能確認を実施した[5],[6]。この確認のために用いた反射鏡は直径が 3.3m φ である。このような大型のアンテナを測定できる設備は限られており、筆者らは京都大学生存圏研究所高度マイクロ波エネルギー伝送実験装置のプレーンポラ・ニアフィールド測定装置を利用した。また開発した DBF/チャネライザの基本機能の確認のために、16 素子のアレーと反射鏡を組み合わせた試験を実施して評価検討した[7]。さらにここでは DBF/チャネライザの機能確認のためのアンテナパターン測定実験および評価を実施している。これらの実験結果ならびに、今までの検討結果のまとめと課題について報告する。

### 2. 搭載アンテナの概要

STICS では携帯端末は地上系と衛星系のどちらの通信網にも接続可能な機能を有し、携帯端末による超小型の衛星アンテナによる音声通信等を主なサービスと

想定している。また、震災時には、地上で収容しきれない呼を衛星に移動し、衛星リソースをトラフィックに応じて制御する機能が含まれている。そのため、衛星搭載するアンテナは利得が高く高機能であることが求められる。

### 2.1. ビーム配置

アンテナは要求利得が高いため、マルチビームで構成される。図1はビーム配置例を示したもので、日本本土および経済水域を100ビーム程度でカバーしている。これらのビーム配置、素子配列、アンテナ方式について検討し、特性評価を実施した[8]。

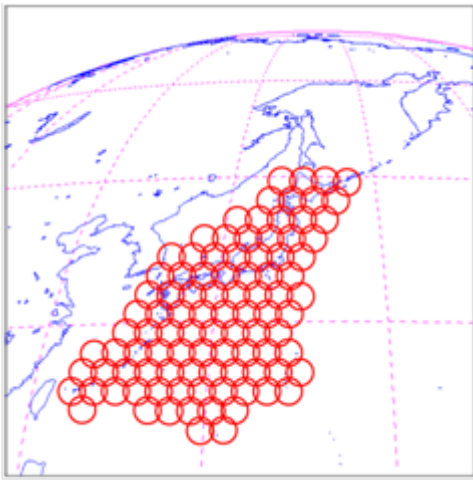


図1 STICSのビーム配置

このようにビーム数が100程度またはそれ以上形成するアンテナではビームフォーミングネットワーク(BFN)はアナログで形成することは複雑で難しく、STICSではデジタルビームフォーミングネットワーク(DBF)を用いている。

### 2.2. アンテナ方式

STICSで用いるアンテナ方式はアレー給電反射鏡アンテナを想定した。

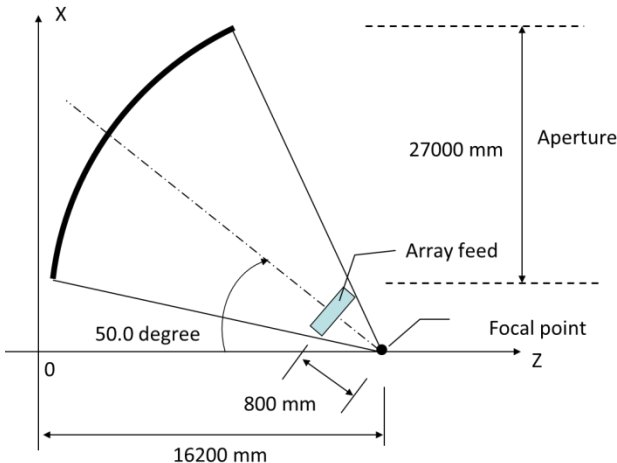


図2 想定する搭載アンテナ構成

直接放射のアレーアンテナでは開口が大きすぎて素子数が膨大になるため、反射鏡を用いている。図2にアンテナ構成を示す。給電部(アレー素子)が800mmほど焦点から反射鏡方向に移動しているが、これはフェーズドアレー機能を持たせるためである。

反射鏡は検討する周波数帯がS帯であること、開口径が30mクラスであることを考慮すると、メッシュ展開鏡面が適する。以下では本アンテナ構成を前提に検討していく。

## 3. アンテナに対する検討課題と試験

STICSではアンテナは災害時には柔軟にビーム形状、位置が対応できるように想定されている。また周波数をビームごとに任意にかつ、動的変更する等高度なチャネライザの機能が要求される。アンテナ特性はアレー給電部を制御するDBF/チャネライザの特性に左右される。筆者らはこれを考慮し、アレー給電部、DBF/チャネライザと反射鏡を組み合わせたパターン測定を実施して要求される機能・性能確認と課題抽出を行った。特に以下に関する3項目を課題としてパターン測定・実験を実施した。

- (1) 超マルチビーム形成技術
- (2) 低サイドローブ化技術
- (3) 反射鏡電気性能評価

測定したアレー給電部の素子数は16素子であるが、100素子を考慮した評価検討を行っている。

以下に各項目と試験の概要を述べる。

### 3.1. 超マルチビーム形成技術

100素子、100ビームクラスのマルチビームをDBF/チャネライザを用いることで形成できることを確認する。そのためにDBFの機能が想定通り設定でき反射鏡を介して所望のパターンが得られていることを確認する。またチャネライザ機能の確認として複数のビームに周波数を割り当て、同時に複数のパターン測定を実施する。

### 3.2. 低サイドローブ化技術

周波数を有効利用するためにビームに割り当てた帯域を繰り返し使用すること想定している。そのためには隣接ビーム等に対する干渉を抑圧するためにサイドローブを所望のエリア内で下げなければならない。100素子を想定したビームのサイドローブ評価を実施する。また鏡面の熱歪に対応して、上昇したサイドローブに対し励振ウェイトを再設定してレベルを下げる実験を実施する。

### 3.3. 反射鏡電気性能評価

反射鏡は軌道上では太陽光の影響で熱歪が生じる。ETS-VIIIでは反射鏡の熱歪でビームがシフトすることが確認されている[2],[3]。予測したビームシフト量を

補正することも DBF/チャネライザの機能から容易である。補正のためには反射鏡の形状を知る必要がある。ここでの測定では鏡面の計測間隔に対するパターンの影響評価を目的としている。実験時の使用した鏡面の計測ポイントの位置、間隔を図3に示す。図の白い点が測定ポイント（ターゲット）である。ポイントの粗い間隔が約 200mm である。

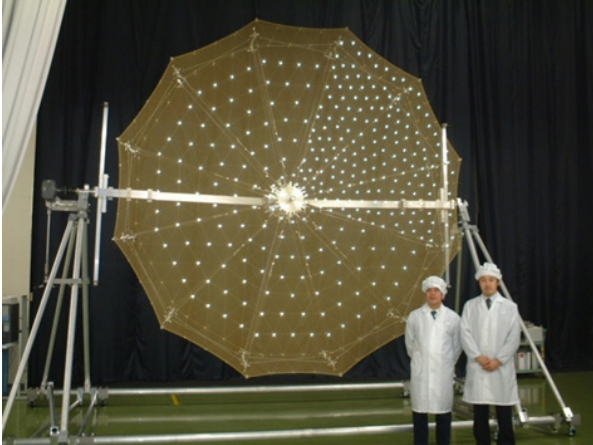


図3 反射鏡面の測定ポイント（ターゲット）

測定した反射鏡は直径 3.3m であるが、想定する 30m クラスの反射鏡ではこのような狭い間隔のポイント計測はできず、間隔が広がってしまうことが予想される。そこで等価的に間隔が広がって測定できるように周波数を変えて実施する。

#### 4. アンテナパターン測定結果

パターン測定は京都大学のプレーンポーラニアフィールドパターン測定装置用い、周波数 1.995GHz、受信アンテナ系で実施した。図4に設置したアンテナの外形寸法、パラメータを示す。

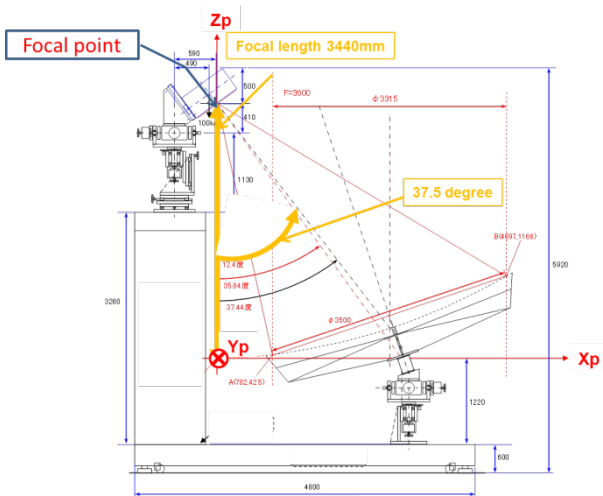


図4 測定したアンテナの寸法とパラメータ

測定は天井に1軸のスキャナがあり、そのプローブから CW 波を出して、反射鏡→アレー給電部と受信される。図5は測定風景を示したもので、反射鏡は天井方向を向いており（Z軸が上部を向く）、給電は4×4のアレーとなっている。DBF/チャネライザは図の左下のBOXである。

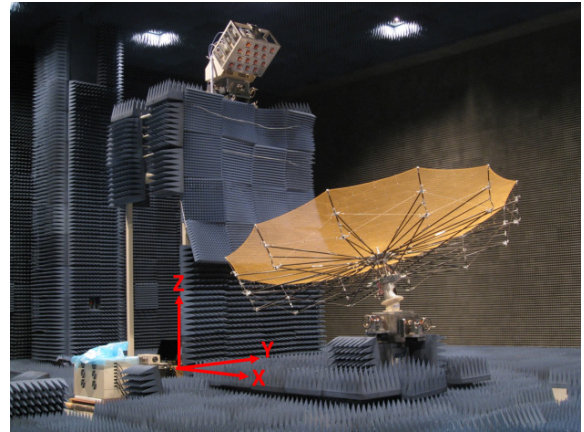


図5 パターン測定風景

#### 4.1. 超マルチビーム試験

ビームを形成する試験として、100 素子、100 ビームの試験について、開発した 16 素子アレー給電部と DBF/チャネライザを用いてパターン測定を実施した [9],[10]。このとき、

- (1) 16 素子のパターンを測定し、測定結果をもとに 30m 反射鏡の 2 次放射パターンを求めることを繰り返して合成する、等価的に 100 素子クラスの測定による評価。
- (2) 実際に DBF により 100 ビームを作り、チャネライザの機能を利用し 7 周波数を 7 ビームに割り当て、すべてのビームを同時にパターン測定して 14 回程度繰り返すことで 100 ビームを測定する評価。

の2つについて実施してきた。ここでは(2)のチャネライザ機能を用いた試験結果について述べる。図6に示す F1 の帯域（約 4.28MHz）のうちチャネライザ機能を用いて f1~f7 の周波数を別のビームに割り当ててパターン測定を実施した。測定は測定装置の周波数切り替え機能を用いることで同時に 7 ビームを測定する。

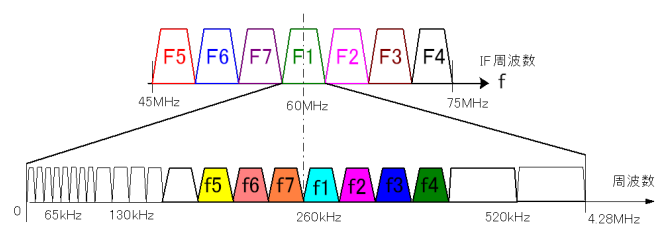


図6 測定周波数とビーム

同様の測定を繰り返して 100 ビーム分の測定を実施した。図 7 は設定したビーム配置を示したものである。矢印方向は 30° カット方向で、このカット方向に作成したビームの放射パターン測定結果を図 8 に示す。ビーム位置がそれぞれ所望の位置と周波数に設定されており、DBF/チャネライザの機能が確認できた。

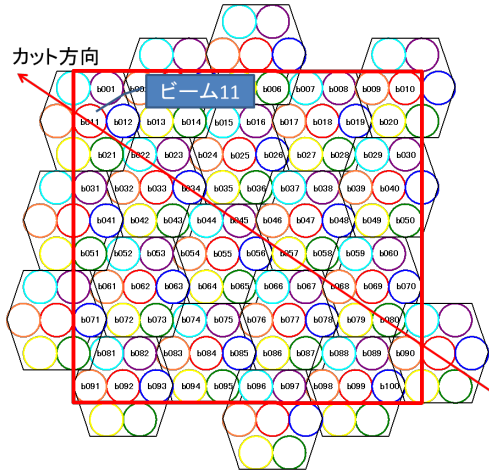


図 7 測定したビーム配置

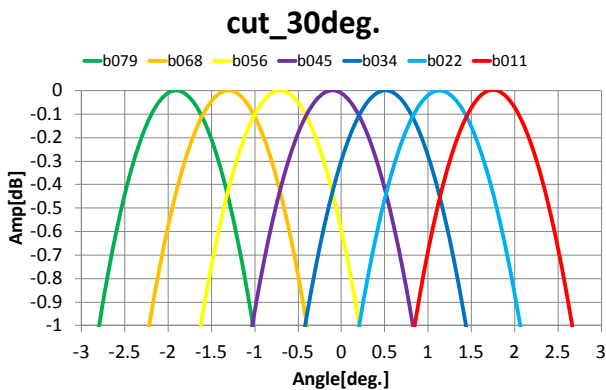


図 8 パターン測定結果 (30° 方向カット面)

#### 4.2. 低サイドローブ化技術

アンテナの低サイドローブ化の機能評価は 16 素子のアレー給電部を用いて次の測定を実施した。

- (1) 100 素子を考慮して 16 素子の測定を 7 回程度繰り返して合成することで 30m の反射鏡と組み合わせた時のパターンの評価。
- (2) 反射鏡が熱歪で歪んだこと模擬した鏡面を用いてパターンを改善する補正機能実験。

なお(1)項については 100 素子のアレーがあると考慮している領域 (経済水域含む) 内で十分にサイドローブが下がることが確認されている[11]。また、(2)の実験は鏡面形状がわかるとサイドローブを改善することができること確認した[7]。ここでは(2)の実験について述べる。

実験はわざと反射鏡面を歪ませて実施した。手順を以下に示す。

- (1) 歪なしの形状とパターンを測定。
- (2) 反射鏡を歪ませ形状を測定。
- (3) 歪時の放射パターンの測定と計算。
- (4) 反射鏡形状を考慮し素子の励振ウェイトを再設置してパターン測定と計算。

測定は誤差要因を少なくさせるため、ホーンアンテナを給電部に使用して実施した。反射鏡を歪ませるために図 9 に示すようにボルトをメッシュに吊るして歪ませた。



図 9 ボルトを吊るした状態

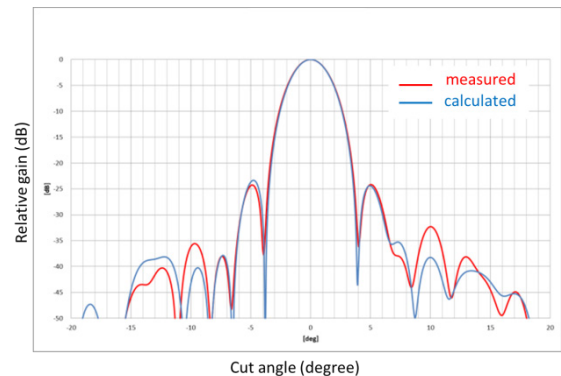


図 10 通常の鏡面のパターン

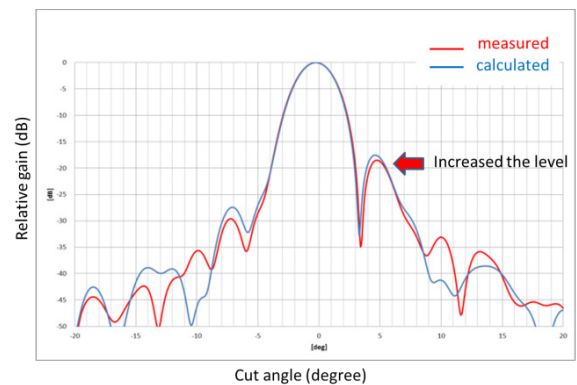


図 11 歪時の鏡面の放射パターン

図 10 に通常の放射パターン測定結果を示す。鏡面

を歪ませたときのパターンを図 11 に示す。図の矢印の箇所のサイドローブが上昇しているのがわかる。次に矢印の箇所のレベルを下げるために、励振ウェイトを再計算して求め、ウェイトを再設定して測定した結果を図 12 に示す。矢印の箇所のレベルが下がっていることがわかる。ウェイトを再設定し、サイドローブを下げる機能を確認できた。

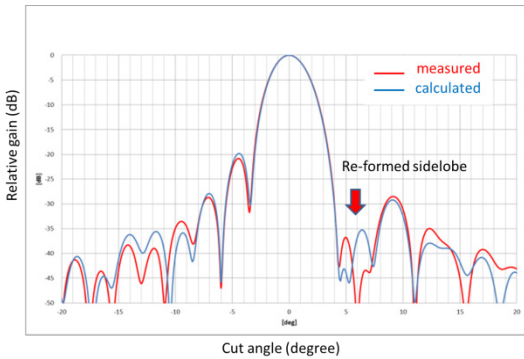


図 12 ウェイト再設定後の放射パターン

方 Ka 帯の測定結果は主ビームが崩れたパターンとなっているが、第二サイドローブまではヌルの位置も含め計算値と合っている。計算で考慮する反射鏡の位置データポイント間隔は変わらないので周波数を高くすると等価的に間隔を広げたデータを用いた計算結果が得られる。このことから測定ポイントが広がってもある程度サイドローブを含め評価できることがわかった。

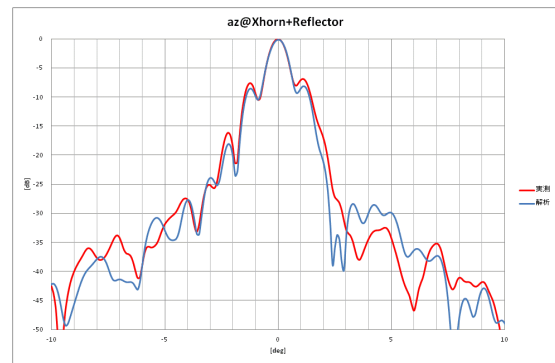


図 13 X 帯 (11GHz) 放射パターン特性

### 4.3. 反射鏡電気性能評価

反射鏡は金属のメッシュで形成されているため、鏡面形状を計測してそのデータをもとに電気性能を予測する。図 13 は S 帯ホーン（標準ゲインホーン）を給電部に用いた時のカットパターンで測定周波数は 1.995GHz である。測定結果と計算結果を比較するとほぼサイドローブまで合っていることがわかる。

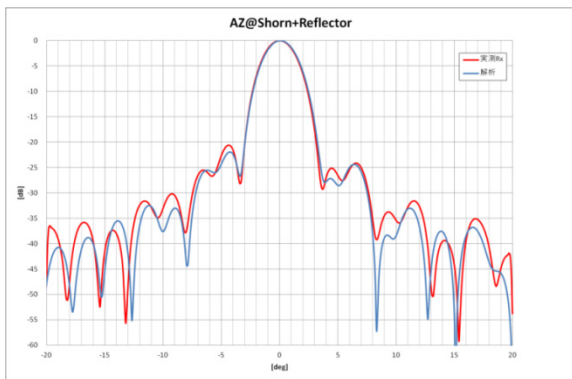


図 13 S 帯 (1.995GHz) 放射パターン測定結果

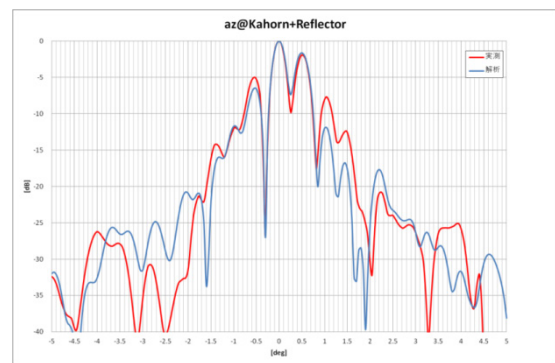


図 14 Ka 帯 (20GHz) 放射パターン特性

STICS の周波数は S 帯であるが反射鏡の形状を測定するポイントを等価的に広げることを目的に周波数を変えて比較した[12]。周波数は

X 帯：11GHz (5.5 倍の間隔)

Ka 帯：20GHz (10 倍の間隔)

で測定した。結果を図 14, 15 に示す。図の赤線が測定値、青が計算値である。X 帯は比較的メインローブ、第一、第二サイドローブ付近までは測定値と計算値のパターンが合っている。ヌルの位置も同様である。一

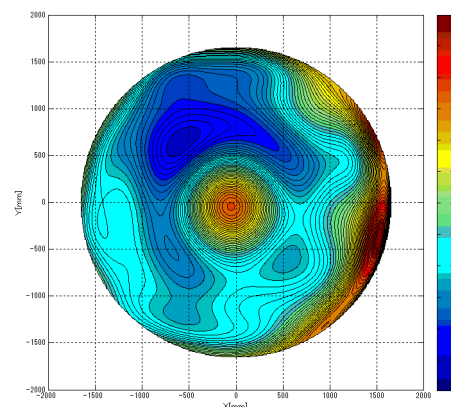


図 16 反射鏡の形状測定結果

なお利得についても比較検討した。その結果計算値に対して実測値は S 帯で 0.1~0.2dB、X 帯で 0.9dB、Ka 帯で 2 dB の差異 (低い) がある。S 帯については

測定誤差と考えられるが、X帯、Ka帯は差異が大きくこれは鏡面自身の特性と考えられる。但し、メッシュの透過損については小さいので反射損失（鏡面材料自身の誤差による）が影響していると思われる。測定した鏡面形状を図16に示す。反射鏡を給電部側から見たまたは天井から見た（図5参照）z軸方向の誤差で、赤は理想面より手前に鏡面があることを示す。解析値はこれらの形状を考慮して計算して得られる。

## 5. アンテナに関する課題

STICSを用いたアンテナの特性評価を実施し、DBF/チャネライザを用いた反射鏡アンテナがビーム設定に自由度があり、低サイドローブ化したビームを容易に形成できることが確認できた。しかし軌道上では反射鏡の熱歪があるためビームシフトおよびパターン歪の対策が必要である。今後検討すべき課題について以下に示す。

### (1) 軌道上鏡面形状測定手法

軌道上で歪んだ鏡面形状を知るために測定する必要がある。最適な手法について検討しなければならない。

### (2) 鏡面形状予測手法

反射鏡の形状を測定できても離散的な値である。測定間隔が大きいときはある程度は評価できるが、内部形状を予測することが必要である。

### (3) DBFに関する特性検討

DBFはAD/DA変換特性、信号処理時の位相の安定性、線形性等種々の誤差要因があり、放射パターンに対する影響を含め詳細に検討する必要がある。

## 6. まとめ

開発したDBF/チャネライザとアレー給電部、反射鏡を組み合わせた試験を京都大学生存圏研究所のプレーンポーラ・ニアフィールド測定装置を用いて実施した。本測定により、STICSで用いられる100素子、100ビームのパターン形成ができることを確認できた。また鏡面が歪んでもアレーの励振ウェイトを再設定することでパターンを調整できることを確認した。今後は5項に示した課題について検討していく予定である。

## 謝辞

本研究にあたり、京都大学 生存圏研究所の高度マイクロ波エネルギー伝送装置の設備を利用させていただいた、篠原先生、三谷先生をはじめ関係各位に感謝する。

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」により実施している。関係

各位に感謝する。

## 文 献

- [1] 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, 信学論 B, Vol. J91-B, No.12, pp.1629-1640, 2008-12.
- [2] 佐藤正樹, 藤野義之, 織笠光明, “軌道上における技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII) 搭載大型アンテナのパターン特性測定,” 研究速報 B, Vol. J91-B, No.12, pp.1641-1643 2088-12.
- [3] 佐藤正樹, 織笠光明, 藤野義之, “軌道上における ETS-VIII 衛星の大型アンテナ放射パターンの評価,” 信学論, B, Vol. J94-B, No. 3 pp344-352, 2011-3.
- [4] 織笠光明, 藤野義之, 佐藤正樹, 浜本直和, 辻宏之, “地上衛星共用携帯電話システム用小規模給電回路の放射パターン測定および評価,” 信学総大, B-3-30, 2012年3月.
- [5] 織笠光明, 藤野義之, 佐藤正樹, 浜本直和, 辻宏之, “地上衛星共用携帯電話システム用小規模受信 DBF 装置の基礎実験,” 無線電力伝送研究会, WPT-2011-37. (May 2012).
- [6] Y. Fujino, T. Orikasa, and N. Hamamoto, “Measurement experiment of deployable large reflector antenna with DBF using A-METLAB,” IMWS-IWPT2012, Vol. FRI-F-13, Kyoto (May 2012).
- [7] T. Orikasa, Y. Fujino, M. Satoh, and H. Tsuji, “Measurement experiment and evaluation of radiation patterns of the mesh reflector antenna mounted on communication satellite for hybrid mobile communication system,” 63rd International Astronautical Congress, IAC-12-B2.2.6 (Oct. 2012).
- [8] 藤野義之, 浜本直和, 三浦周, 鈴木龍太郎, 山本伸一, 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,” 信学技報, SAT2009-36(2010-02), PP31-35, 2010年.
- [9] 織笠光明, 藤野義之, 佐藤正樹, 浜本直和, 辻宏之, “地地上衛星共用携帯電話システム用小規模給電回路の放射パターン測定および評価,” 信学総大, B-3-30, 2012年3月.
- [10] 織笠光明, 藤野義之, 辻宏之, 松崎敬臣, 原田敬史, “地上衛星共用携帯電話システム用超多ビーム機能確認試験,” 信学総大, B-3-34, 2013年3月.
- [11] 辻宏之, 織笠光明, 藤野義之, “地上／衛星共用携帯電話システム用小規模 DBF/DC におけるビーム形成および低サイドローブ化機能の測定評価,” 信学ソサエティ大会, B-3-25, 2012年9月.
- [12] 織笠光明, 藤野義之, 辻宏之, 松崎敬臣, 森口達次, “メッシュ展開反射鏡アンテナの反射特性に関する放射パターン測定および評価,” 信学ソサエティ大会, B-3-26, 2012年9月.