

# 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

織笠 光明<sup>†</sup> 藤野 義之<sup>†</sup> 佐藤 正樹<sup>†</sup> 浜本 直和<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・開発を進めている。このシステムは衛星搭載用の大型アンテナが必要で、開口径が 30mφ クラスのアンテナの検討を実施している。このアンテナは展開反射鏡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。これまで、これを実現するためにデジタルビームフォーミングネットワーク(DBF)で励振ウェイトを設定する給電部を開発し、機能を確認してきた。今回、さらにこの給電部の基本機能を検証するため、実際の反射鏡と組み合わせて放射パターンを測定するための基礎実験を実施し、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

## Fundamental experiment of small size feeding Array for STICS

Teruaki ORIKASA<sup>†</sup> Yoshiyuki FUJINO<sup>†</sup> Masaki SATHO<sup>†</sup>

Naokazu HAMAMOTO<sup>†</sup> 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) . For this system, a large satellite antenna is necessary and we have been studying the antenna with approximately 30m aperture size. This antenna consists of deployable reflector and phased array feed, and performs the multi beam formation. For this system, small size array feed weighted by digital beam forming network (DBF) is developed. In this paper, fundamental experiments of DBF are studied for patterns measurements of antenna with mesh reflector.

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

### 1. はじめに

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]。衛星搭載アンテナについても重要な技術であり、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/DC)を介して給電される。想定は 100 素子 100 ビームの給電部を検討しているが、小規模な DBF/DC および給電アレー素子を開発して機能評価を実施してきた[2]。ここでは機能評価結果の詳細と実際の反射鏡と組み合わせた試験の試験計画について述べる。使用する反射鏡の径が 3.3mφ と大きいため、大型のアンテナを測定できる設備が必要であるが、限られており、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することを計画している。開発した送・受信 DBF/DC の基本機

能の確認のために、16 素子のアレーを組み合わせた試験結果ならびに、DBF/DC の反射鏡と組み合わせた試験計画について報告する。

### 2. アンテナの構成

STICS では地上／衛星共用の電話システムを検討している。想定する衛星搭載アンテナのビーム配置例を図 1 に示す。ビーム数は 100 ビーム程度で、地上におけるビームの大きさは直径 200 km 程度である。周波数は 2GHz 帯で給電部は 100 素子程度を想定している。このようなアンテナでは反射鏡は 30m クラスの開口が必要となり、衛星を打ち上げるためには展開収納が可能な反射鏡が必要であり、開発課題の一つとなっている。展開アンテナとしては ETS-VIII で用いた金属繊維で編まれたメッシュを反射面に用いる展開アンテナが有力である。図 2 は 30m クラスのメッシュ展開反射鏡アンテナを搭載した衛星の概念図を示したもので、送受共用給電部が搭載されている。

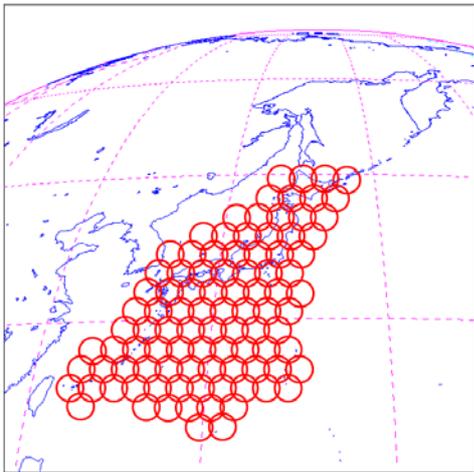


図 1 STICS のビーム配置例

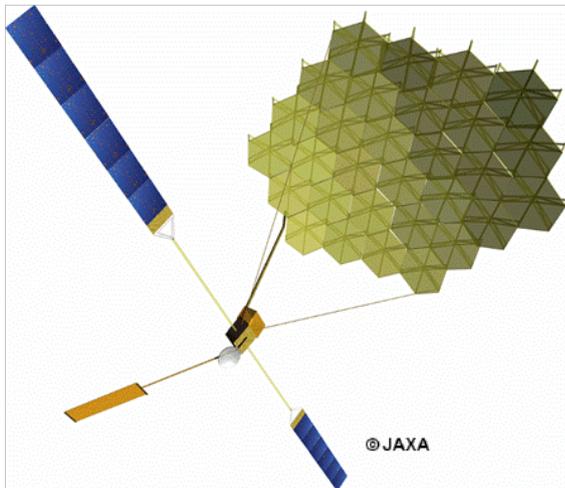


図 2 STICS 衛星の外観

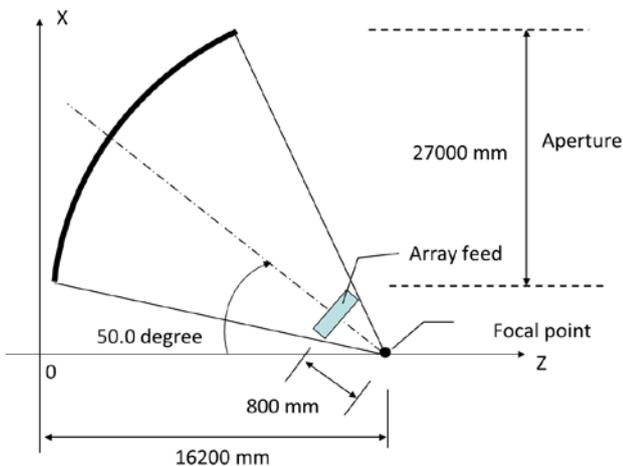


図 3 想定されるアンテナパラメータ

ここで検討するアンテナパラメータの典型的な例を図3に示す。以下では特に断らない限り、反射鏡と給電部を組み合わせた2次放射パターンについては本パラメータを用いたもの示す。アレー給電部は焦点位置から800mm反射鏡側にオフセットして設定されている。アレーの素子数は100素子クラスを想定している。本アンテナシステムについては方式を含め種々検討を進めてきた[3],[4],[5]。また小規模DBF/DCを開発し、特性確認等を実施してきた。ここではさらに開発した小規模DBF/DCおよび16素子アレーで構成される給電部ならびにメッシュ反射鏡を組み合わせた試験を実施し評価した。試験のフローを図4に示す。

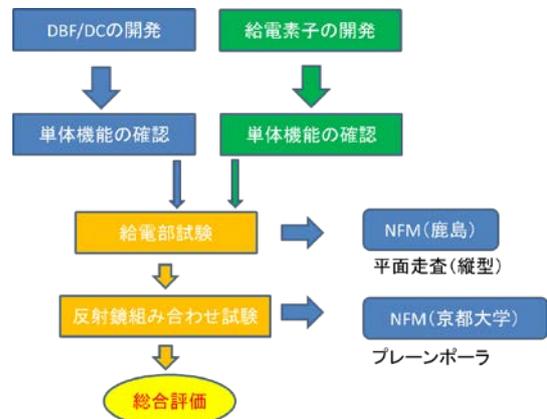


図 4 試験フロー

### 3. 給電部試験

給電部試験は小規模DBF/DCが送信用と受信用を開発し評価している。本試験の目的は以下の項目の検証のために実施した。

- (1) 所望のビームが形成できること
- (2) 所望のヌルが形成できること
- (3) 低サイドローブビームができること
- (4) RFセンサビームが形成できること

検証方法としては

- (1) 計算により所望のパターンと励振ウエイトを求める(解析値とする)
- (2) 給電部パターンの測定
- (3) 測定結果と27mφ反射鏡を組み合わせたパターン計算
- (4) 設計値との比較の手順で実施した。

### 3.1. 試験構成

給電部試験の構成を図5に示す。測定装置は近傍界測定装置（NFM）を使用した。測定時の基準信号は送信／受信それぞれの DBF/DC から得ている。

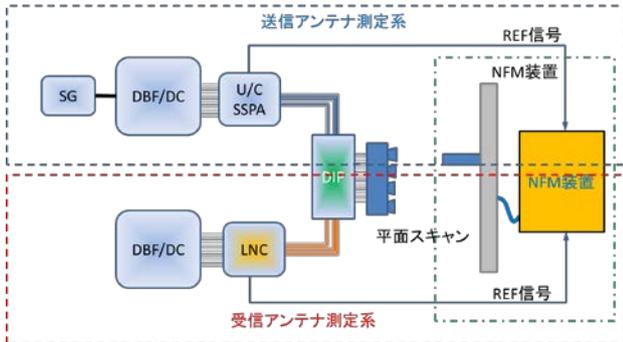


図5 給電試験構成

図6に測定風景を示す。アレー素子給電部は16素子の三角配列で構成され、素子ごとにダイプレクサで送受を分離している。測定は送信・受信それぞれ独立に実施した。

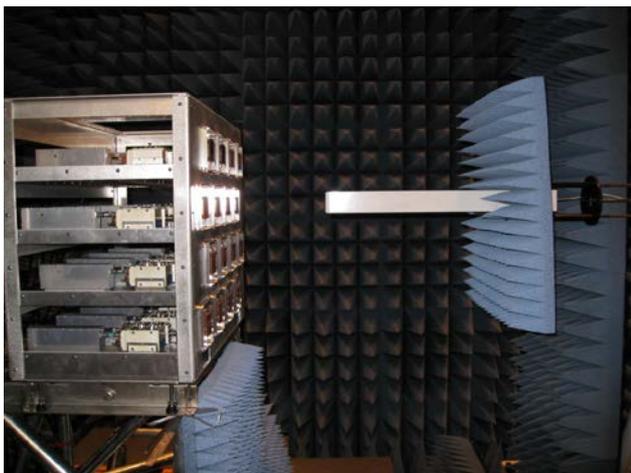


図6 パターン測定風景

### 3.2. 測定結果

NFM装置で測定した給電部の開口面データをもとに27mφの反射鏡の照射したときの2次放射パターン求めた結果（測定値）を図7に示す。図8および9は測定値と解析値（設計値）を比較した結果のカットパターン例である。ビームを種々設定して比較したところ測定値と解析値がよくあっていることがわかった。したがって開発したDBF/DCが所望の励振ウェイトを設定できることが確認できた。

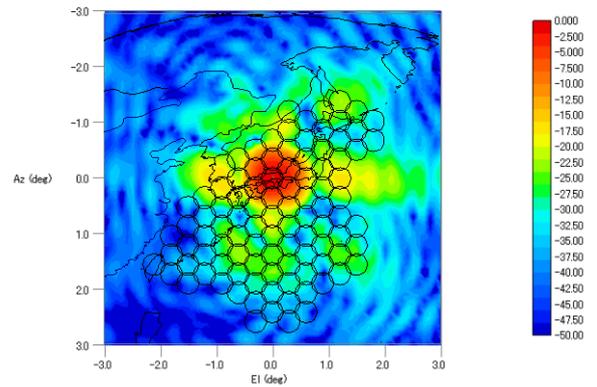


図7 設定ビームの測定結果

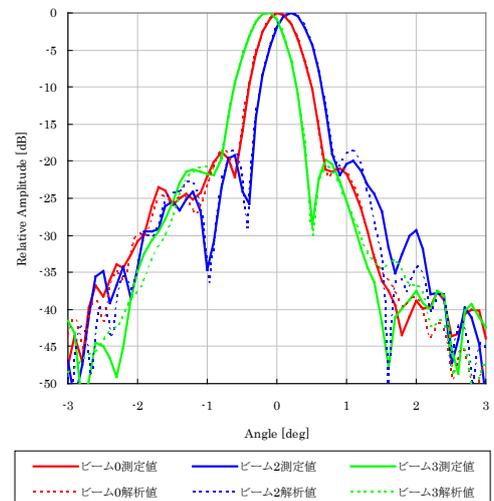


図8 中心付近のビーム（Az カット）

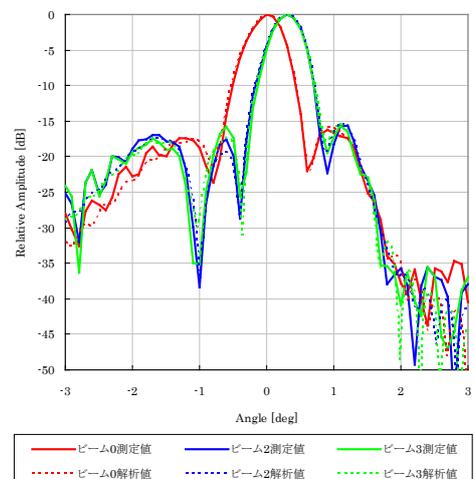


図9 中心付近のビーム

さらに低サイドローブ化を目指した励振ウェイトを設定して検討した。その際、所望のパターンを得るために等価的に 64 素子で励振して、ほぼ全域に渡りサイドローブレベルが -25dB 以下になることが確認できた。図 10 が通常パターン（利得最大）、図 11 に低サイドローブ化を図った結果を示す。

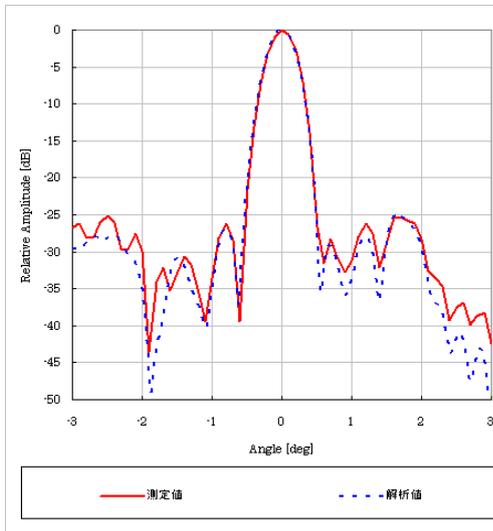


図 10 利得最大パターン（E1 カット）

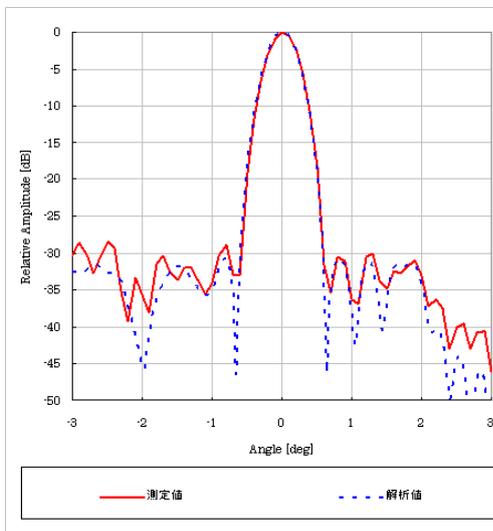


図 11 低サイドローブ化パターン（E1 カット）

#### 4. 反射鏡組み合わせ試験検討

次に開発した DBF/DC と素子を用い、メッシュ反射鏡と組み合わせる試験を検討する。将来の大型アンテナは ETS-VIII で代表されるようにメッシュ鏡面アンテナが有力であり、検討も進められている [6]。一方文献[7]に示すように軌道上においてビーム指向方向が変動することや、サイドローブが劣化する等の問題が

あり、アンテナ開発の課題となっている。したがって、詳細な地上における給電部と反射鏡との組み合わせ試験・評価は今後のアンテナ性能の軌道上電気性能予測技術の開発に重要である。

#### 4.1. 鏡面および設備検討

鏡面は将来適用可能と考えられるメッシュ鏡面アンテナが適切であると考え、調査したところ、開口径が 3m 程度の反射鏡が NICT にあり、F/D も 1 程度で扱いやすいことがわかり、これを用いることにした。図 12 は鏡面確認のために鏡面を展開させた様子を示したもので、特に異常もなく測定に用いることができることを確認した。



図 12 用いるメッシュ鏡面反射鏡

選定した反射鏡はパラメータが

- (1) 反射鏡径：3.3m
- (2) 焦点距離 F：3.44m
- (3) オフセット角：37.4°

F/D= 1.04

となっているため、5m×5m 以上のスキャン範囲がある近傍界測定装置が必要となる（屋外設備は反射鏡面を維持することできないため）。そのため大きなパターン測定設備が必要で、京都大学の生存圏研究所にあるプレーンポラ近傍界測定設備を利用させていただくこととした。

本設備は電波を天井方向に放射するアンテナの開口面をスキャンするもので約 10m 程度のもの開口をスキャンすることが可能である。

#### 4.2. 試験目的

DBF/DC とアレー素子を組み合わせるパターン測定することで DBF/DC の機能確認をすることができた。ここではさらに実際の鏡面でビームが形成できることの確認を目的とした（？）試験を実施する計画を検討する。基本機能を確認するために実施する検証項目を以下に示す。

- (1) ホーンを給電部とした試験
- ・ 基本特性の把握
  - ・ 反射鏡と組み合わせた電気性能予測
  - ・ 周波数を変えた時の特性

- (2) 16 素子アレーを給電部とした試験
- ・ マルチビームが形成できることの確認
  - ・ マルビーム (RF センサ) 形成できることの確認
  - ・ 低サイドローブ特性が実現できることの確認

これらの試験を実施して、実際の鏡面でも十分 DBF/DC が放射パターン制御できることを確認する。

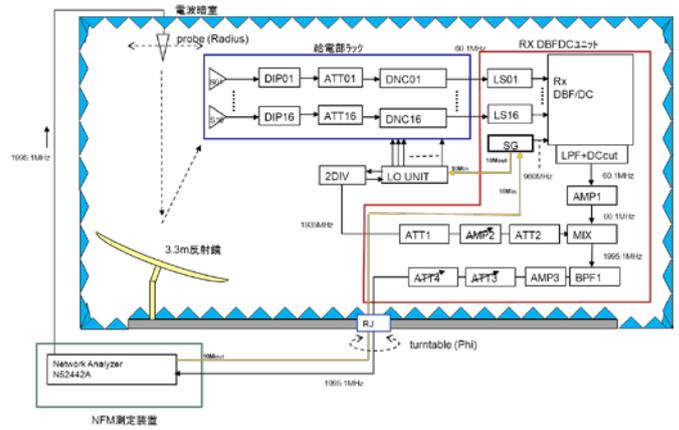


図 14 試験系統図

### 4.3. 試験構成

京都大学のプレーンポラ近傍界測定装置にアンテナが設置できるかどうかについて検討した。

測定装置はプレーンポラ型の近傍界装置であるが、暗室上部 (天井) に 1 軸のスカナが設置され、床面は直径 6.5m の回転テーブルとなっている。開口の開口面を円形状にサンプリングできるようになっている。反射鏡は Z 軸を天井方向に向けて設置する。このような装置にアンテナが設置できるように検討した結果、図 13 に示す配置となった。

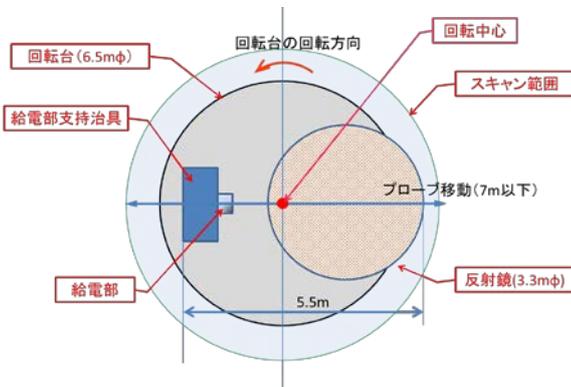


図 13 アンテナ設置検討

アンテナは治具を含め回転テーブルに設置できることがわかった。またプローブのスカン範囲は 7m 以下となり、十分設備の最大スカン範囲 (10m) を満たしている。アンテナの高さについては、使用する鏡面の焦点距離が 3.4m 程度あるが、検討したところ床から 6m 以下の高さに収まることがわかり、測定できることがわかった。

次に試験の電氣的系統図を図 14 に示す。図の構成は DBF/DC を含めたものである。ホーン給電の場合は単純に青枠と赤枠の箇所をホーンに置き換えればよい。

### 4.4. 鏡面形状評価

今回の給電部/反射鏡組み合わせ試験のために、鏡面形状を測定評価した。図 15 に測定結果を示す。反射鏡は紙面から手前に向けている。図の赤は手前に変形し、青は奥に変形している様子を示している。

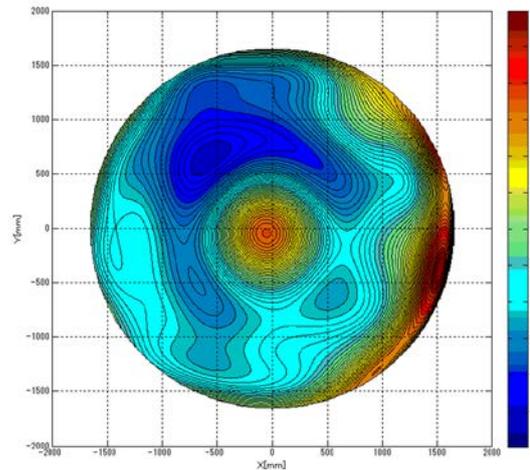
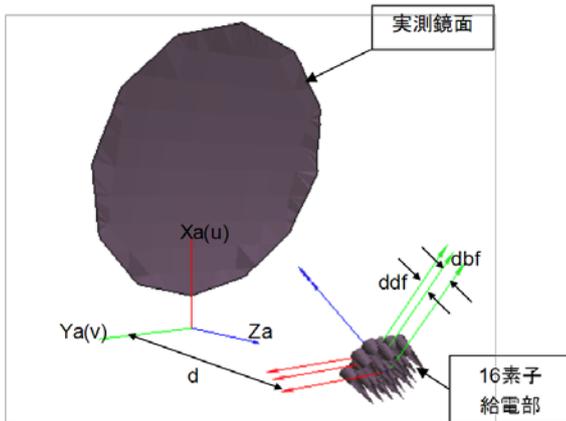


図 15 鏡面形状の測定結果

この実鏡面データをもとに励振ウェイトを算出し、この励振分布で DBF/DC を設定し放射パターンを測定した。この測定結果を用いて、図 16 に示すように鏡面形状を考慮して 2 次放射パターンを計算 (実測値) し、ウェイト設定時の放射パターン (解析値) との比較をした。結果を図 17 に示す。計算値と測定値が良く合っていることがわかる。従って実鏡面でも電気性能が十分予測可能であることが確認できた。

今後は実際に鏡面と給電部を組み合わせパターン評価試験を実施する。



dbf: 実測鏡面のベストフィット距離 (160mm)  
 ddf: ベストフィット位置からの離焦点距離 (100mm)  
 d: 焦点距離 (3600mm)

図 16 鏡面誤差を考慮した計算

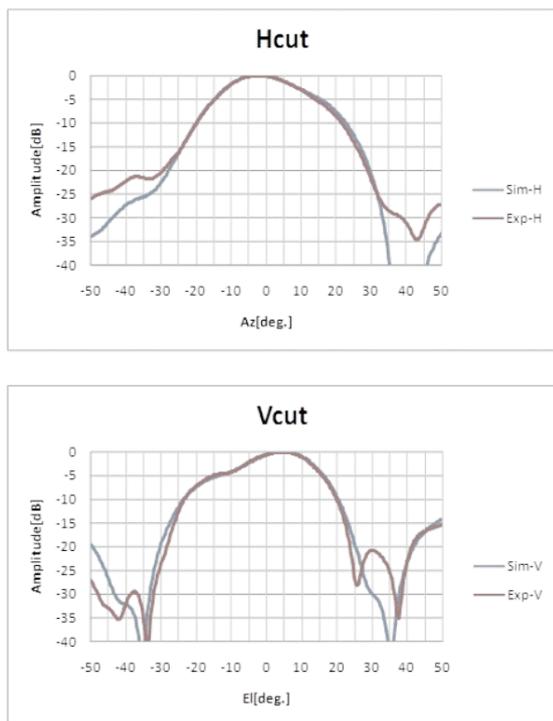


図 17 鏡面形状を考慮した測定結果と計算結果

## 5. まとめ

開発した小規模 DBF/DC を用いて基本機能確認試験を実施した。16 素子のアレー給電部を用いてパターン測定評価を実施し、DBF/DC の機能を確認することができた。また、DBF/DC と反射鏡と組み合わせた試験について試験計画を示した。

今後は給電部と反射鏡を組み合わせた試験を実施し評価していきたい。

## 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] 菱輪正, 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, “安心・安全のための地上 / 衛星統合移動通信システム,” Vol. J91-B, No.12, pp.1629-1640, 2008-12.
- [2] 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.
- [3] 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,” 信学技法, SAT2009-36 (2010-02), PP31-35, 2010年.
- [4] 藤野義之, 浜本直和, 三浦周, 織笠光明, 鈴木龍太郎, 山本伸一, 稲沢良夫, 内藤出, 船田雅彦, 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,” 信学技報 SAT2010-36 (2010-08), PP41-46, 2010年.
- [5] 藤野義之, 浜本直和, 三浦周, 織笠光明, 若菜弘充, 山本伸一, 柳崇, 小島央任, 船田雅彦, 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,” 信学ソサエティ大会, p.286, B-3-4, 2011年9月.
- [6] 木下信也, “通信衛星産業課への取り組み～「災害に強い社会」を実現する高度情報通信衛星構想の御提案”, 宇宙開発戦略本部 第13回宇宙開発戦略専門調査会 資料3-5, 2011年4月25日.
- [7] 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, pp.344-352, 2011-03.