

フェーズドアレー衛星実験用電波暗室 AMETLAB

篠原 真毅[†] 坂本 栄樹[‡]

[†] 京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

[‡] ファラッド株式会社 〒162-0833 東京都新宿区筈笥町 34 番地 日交ビル 10 階

E-mail: [†] shino@rish.kyoto-u.ac.jp, [‡] hsakamoto@farad.co.jp

あらまし 衛星搭載用の大口径のフェーズドアレーを正確に測定できる測定装置、及び電波暗室は国内で非常に少ない。京都大学生存圏研究所では 2010 年度に直径 10mφ のフェーズドアレー(max 10kWCW)の性能を測定できる電波暗室 AMETLAB 及び近傍界測定装置を導入した。本講では装置の概要及び測定例について紹介する。

キーワード 電波暗室, 近傍界測定装置, フェーズドアレー, 衛星

Special Anechoic Chamber AMETLAB for Experiment of Phased Array Satellite

Naoki SHINOHARA[†] and Hideki SAKAMOTO[‡]

[†] Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011 Japan

[‡] FARAD Corporation Nikko Building 10F, 34 Tansu-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0833 Japan

E-mail: [†] shino@rish.kyoto-u.ac.jp, [‡] hsakamoto@farad.co.jp

Abstract There is few anechoic chamber and antenna measurement system in Japan, with which we can measure large size phased array antenna for satellite. We, Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, installed a new and special anechoic chamber called AMETLAB and near field scanner in FY2010, with which we can measure antenna data of 10mφ phased array with maximum 10kWCW. In this paper, we show the research equipments and samples of antenna measurement with them.

Keyword Anechoic Chamber, Near Field Scanner, Phased Array, Satellite

1. はじめに

京都大学では 1980 年代以降、宇宙太陽発電所 SPS (Space Solar Power Satellite/Station)やマイクロ波無線電力伝送の研究を長年行ってきた[1][2]。1995 年度に導入されたマイクロ波無線電力伝送用電波暗室 METLAB (Microwave Energy Transmission LABoratory) [3]、2001 年度に導入された SPS 用各種研究設備 SPSLAB (SPS LABoratory)[4]は、全国共同利用設備として広く研究者に利用されており、SPS やマイクロ波無線電力伝送研究のみならず、電波科学実験一般及び生存圏科学のための電波の新しい応用を目的とした研究のために利用されている[5]。これらの京都大学の研究成果と全国共同利用活動が認められ、2009 年度に新しい研究設備が予算措置され、2010 年度から全国共同利用設備として稼動している。この研究設備は A-METLAB(Advanced Microwave Energy Transmission LABoratory)と呼ばれ、直径 10mφ のフェーズドアレー(max 10kWCW)の性能を測定できる電波暗室及び近傍界測定装置で構成されている。本講ではこ

の AMETLAB に関して述べる

2. AMETLAB 電波暗室

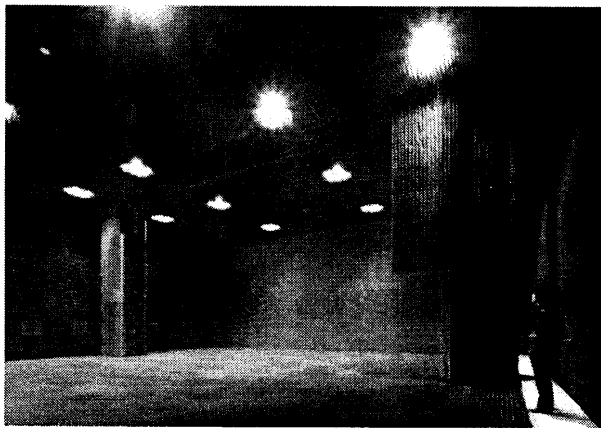
合成開口レーダーや様々なレーダーでフェーズドアレーは重要な技術となっているが、日本で研究を推進する SPS は、最終的には直径 2kmφ、素子数 20 億素子以上という超巨大フェーズドアレーを用いて 100 万 kW 以上のマイクロ波無線電力伝送を行うため、フェーズドアレー技術の実証が特に重要である。SPS の実現のためには小型実証実験衛星や中型実証システムを何度も段階を踏んで実証していく必要がある。日本では 2009 年 6 月に制定された宇宙基本計画において SPS の研究推進と小型衛星実証実験の早急な検討がうたわれている[6]。2009 年度より経済産業省が JAXA と連携して SPS 検討委員会を行い、フェーズドアレーを用いた地上マイクロ波無線電力伝送実証実験を 2014 年度に計画している[7]。

しかし、衛星搭載用の大口径のフェーズドアレ

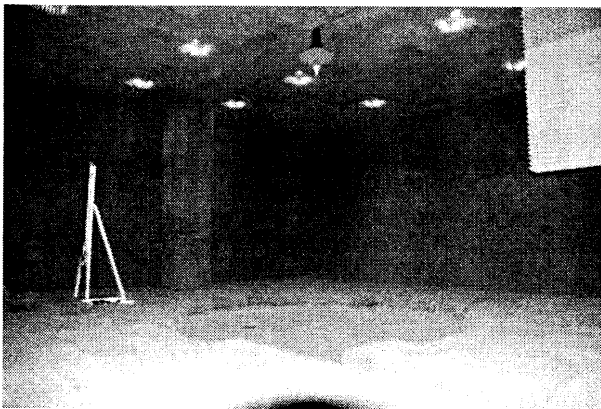
一を正確に測定できる測定装置、及び電波暗室は国内で非常に少ない。そこで京都大学生存圏研究所に導入されたのが AMETLAB である。

AMETLAB は

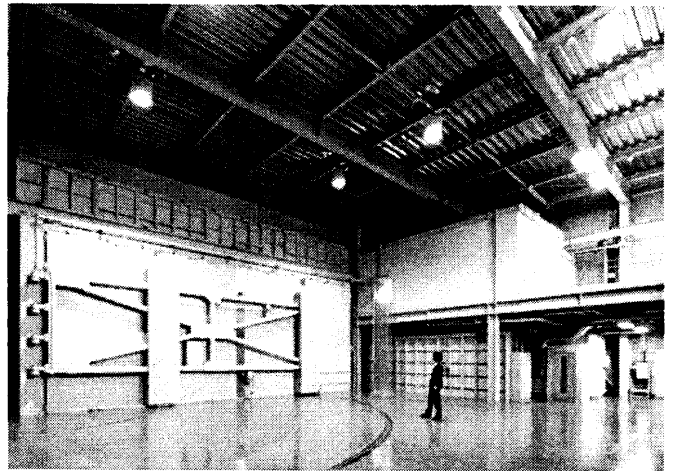
- ・ 建物 34.0m(L) x 21.0m(W) x 9.97m(H)
 - ・ 建築面積 714.00 m²
 - ・ 述べ床面積 824.72 m²
 - ・ 電波暗室部 18m(L) x 17m(W) x 7.3m(H)
 - ・ シールド特性 -100dB 以上 (14kHz~40GHz)
 - ・ 無響特性 2.45GHz で-30dB 以上 (パスレングス 12m、クワイエットゾーン 2m φ)
 - ・ 高耐電力電波吸収体 2.45GHz にて -20dB 以上、1W/cm² 以上(連続 8 時間) 不燃性 (1 面)
 - ・ ノーマル電波吸収体 2.45GHz にて -35dB 以上、0.2W/cm² 以上(連続 8 時間) 難燃性 (1 面)
 - ・ クリーンルーム (Class 100,000)
 - ・ 電動シールド大扉 7m(w)×5.5m(h)
 - ・ 前室内天井ホイストクレーン 2.8t 未満
- という電波暗室である(図 1)。



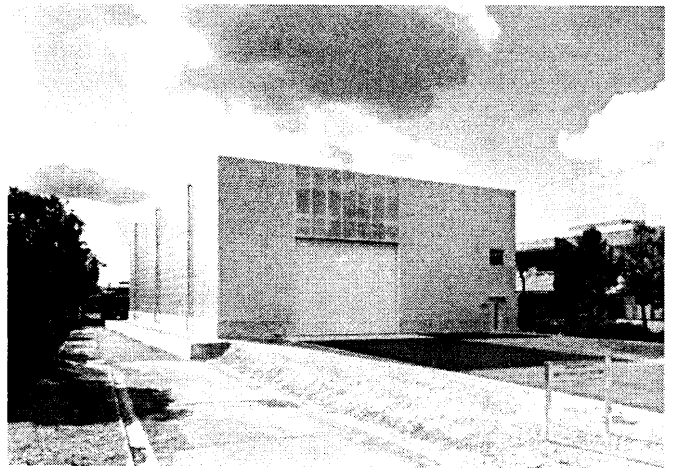
(a) AMETLAB 電波暗室(床吸収体敷き詰め)



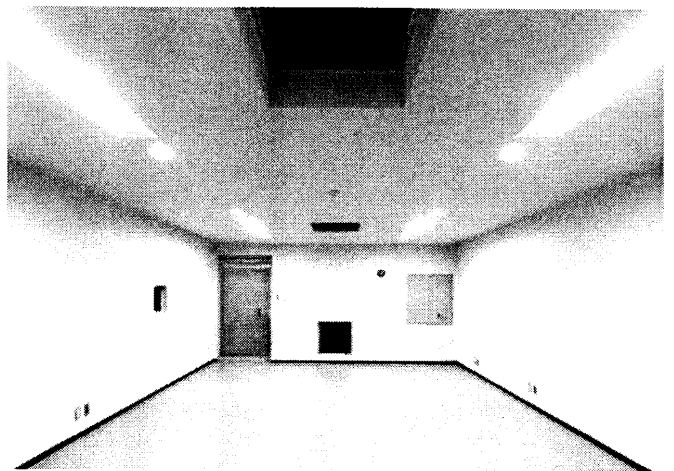
(b) AMETLAB 電波暗室(近傍界測定装置)



(c) 前室 (電動シールド大扉)



(d) 建物外観



(e) 測定室

図 1 AMETLAB 電波暗室

AMETLAB の設計思想として

- 1) マイクロ波無線電力伝送のような大電力マイクロ波ビームの実験に対応 (→高耐電力電波吸収体)

- 2) max 直径 10m ϕ のフェーズドアレーの測定が可能 (→ 大型近傍界測定装置(次章))
- 3) 人工衛星実験も可能 (→ クリーンルーム) となっている。本研究設備を用いることで合成開口レーダー等の様々なフェーズドアレーの実験が可能となる。

3. 近傍界測定装置

電波暗室だけで高精度にアンテナの測定を行うことは難しい。AMETLAB には衛星搭載用の大口径のフェーズドアレーを正確に測定できる近傍界測定装置を導入した。

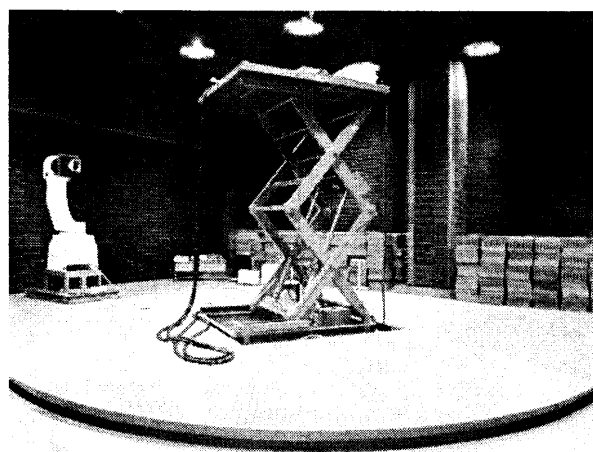
max 直径 10m ϕ のフェーズドアレーの測定が可能とするために、床面に直径 6.5m ϕ のターンテーブルを設置し、天上に 1 軸スキャナを設置した plane-polar タイプの近傍界測定装置が AMETLAB には設置されている(図 1(b))。近傍界測定装置の仕様は以下となっている。

- ・ phi 軸 (大型ターンテーブル 床面埋め込み)
 - ・ 直径 6.5m ϕ
 - ・ 耐荷重 10t
 - ・ 位置精度 0.05deg
 - ・ 分解能 0.05deg
 - ・ 位置再現性 0.05deg
- ・ Radial 軸 (1 軸スキャナー 天井埋め込み)
 - ・ スキャンエリア 12m
 - ・ 位置精度 0.05 mm (実効値)
 - ・ 位置再現性 0.05 mm (実効値)
- ・ センサー
 - ・ 1GHz - 26.5GHz Dual 偏波プローブ
 - ・ 1.7GHz - 2.6GHz, 2.6GHz - 3.95GHz, 3.95GHz - 5.85GHz, 5.85GHz - 8.2GHz, 8.2GHz - 12.4GHz, 12.4GHz - 18GHz, 18GHz - 26.5GHz の 6 種類の OEWG プローブ (付け替え)
- ・ 測定系
 - ・ 測定周波数 1GHz から 26.5GHz
 - ・ 受信機 アジレント製 PNA-X N5242A
 - ・ 測定方式 テストアンテナ近くにミキサを配置し、遠方で IF 信号を解析
 - ・ 位相同期発振器を備えたアンテナシステムの測定に対応させるため、位相同期発振器から出力される基準信号 (10MHz) を送受信装置に基準信号として入力可能

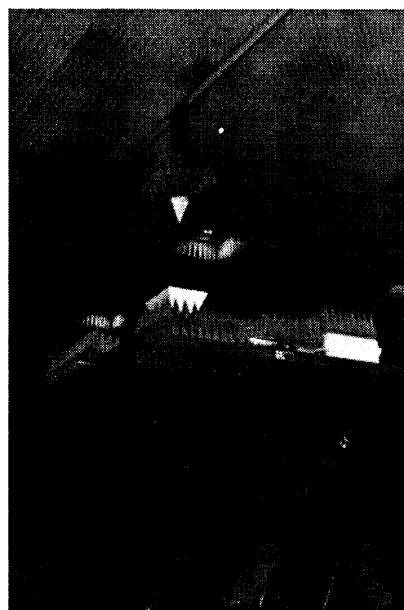
Plane-Polar 近傍界測定では、被測定アンテナの中心と phi 軸の回転中心が一致しない場合、水平偏波と垂直偏波双方の測定が必要である。Dual 偏波プローブは

2つのセンサーが交差しており、スイッチ制御により 1 回のスキャンで両偏波の測定を可能とする。また、本システムは複数の周波数を測定するマルチ周波数測定やマルチビーム測定に対応しているため、測定希望周波数やビーム数の回数測定を行う必要がなく、大幅な時間短縮が可能である。

床面に設置された被測定アンテナからの放射電磁波を、天井設置の 1 軸スキャナに設置されたセンサーで測定すると、直径が 10m もあるような高利得アンテナの場合は十分近傍界となり測定も精度よく行えるが、通常のアンテナは低利得であるために遠方界となり、測定制度が出ない。そこで本装置では低利得アンテナを測定する際はターンテーブルの上にリフターを設置し、リフターで被測定アンテナを持ち上げて近傍界測定を行うようにしている(図 2)。



(a) リフターを用いた低利得アンテナ測定 (周囲はターンテーブル上の人工衛星のモックアップ)



(b) センサーと被測定アンテナの拡大

図 2 リフターを用いた低利得アンテナ測定

4. 測定例

これまでに AMETLAB を用いて測定されたアンテナの測定例についてここでは紹介する。

4.1 マイクロ波無線電力伝送用フェーズドアレー

京都大学では AMETLAB の導入と同時に、マイクロ波無線電力伝送用フェーズドアレーを全国共同利用設備として導入している。このフェーズドアレーは GaN 半導体を用いた F 級 HPA と MMIC 移相器を用いた 5.8GHzCW のフェーズドアレーである。HPA 出力は 7WCW 以上、素子数 256 素子、トータル 1.9kW 以上のマイクロ波無線電力伝送を行うことができる(図 3)[8]。

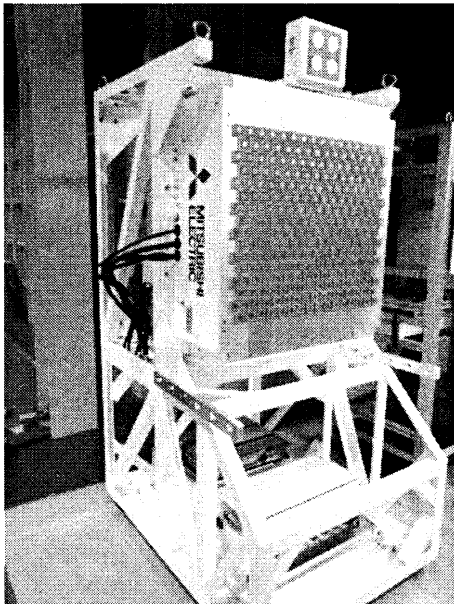
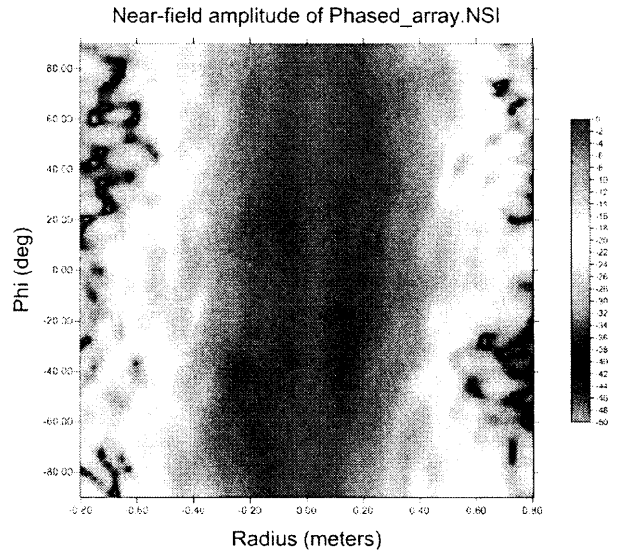


図 3 京都大学のマイクロ波無線電力伝送用 5.8GHzCW フェーズドアレー(全国共同利用研究設備)

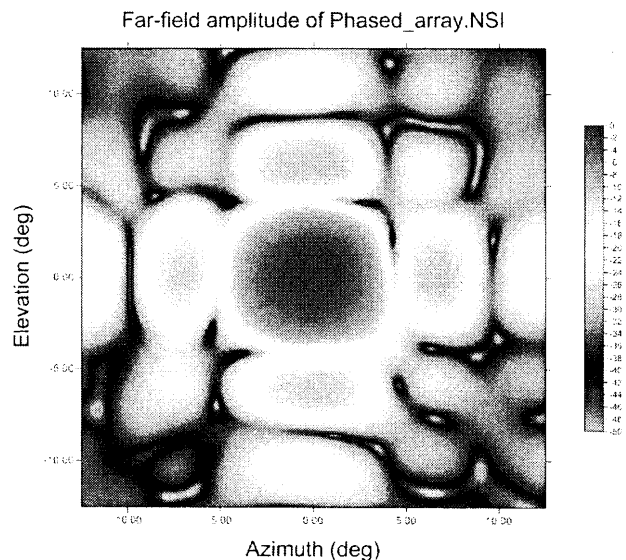
図 2 の状態でこのフェーズドアレーをリフター上にセットし、近傍界測定を行った。図 4(a)はフェーズドアレーアンテナの近傍界生データ、図 4(b)はそれを変換した遠方界コンツァー表示データである。正確なアライメントをせず測定したので、測定中心点が物理的にずれたためソフト上でセンターに合わせている。

図 5 は図 4 と同データの Hcut データである。1 スキャンで複数のビームを測定できるマルチビーム測定機能を使用し (X:0, Y:0) , (X:0, Y2) , (X:0, Y:4) の 3 波を同時測定したデータである。アライメントのズレがあるので、(X:0, Y:0) のデータが 0 度上になく -2 度近辺にある。ソフト上でセンターにオフセットした場合、すべてのデータが 0 度に設定されてしまい、ピークが 0 度に重なってしまうため、オフセットなしでそのまま書き出したデータである。また同 Vcut データ

を 図 6 に示す。Y のみ 0,2,4 と振り、X の設定はすべて 0 であったため、ピークは同じ位置となっている。



(a) 近傍界生データ



(b) 遠方界変換データ (オフセット後)

図 4 フェーズドアレーアンテナのビームコンツァー

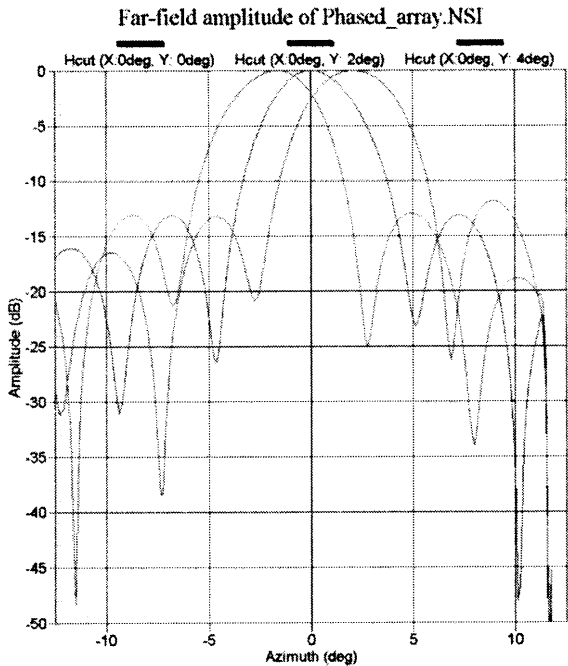


図 5 Hcut データ (オフセットなし)

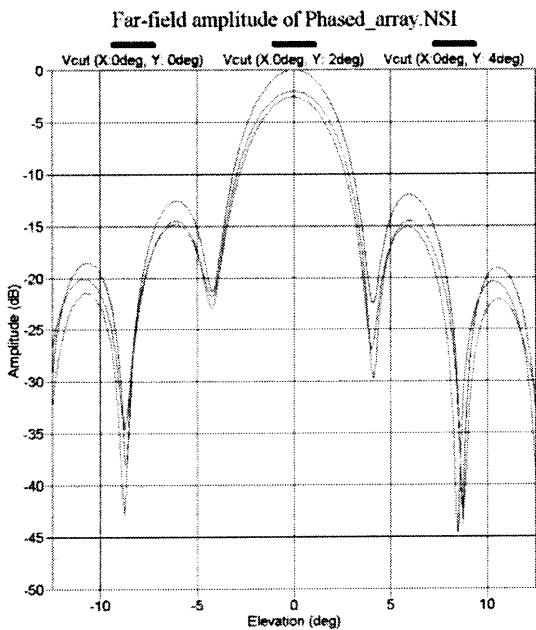
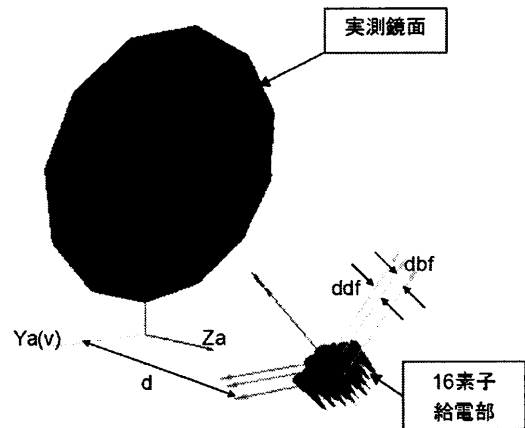


図 6 Vcut データ (オフセットなし)

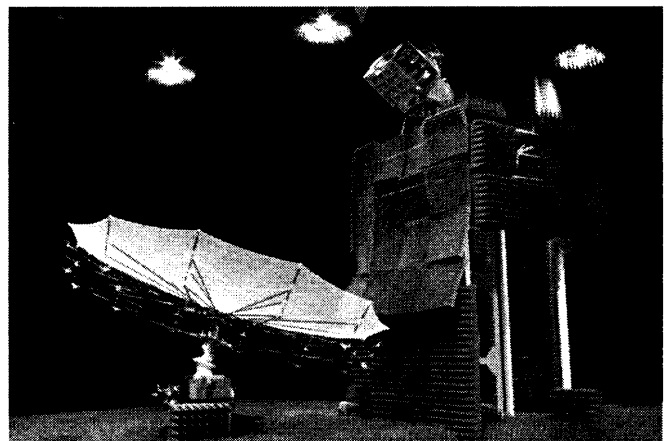
ーム級の給電部を検討しているが、今年度は開発した送・受信 DBF/DC の基本機能の確認のために、16 素子のアレーを組み合わせた試験を AMETLAB を用いて行っている。[9]。測定に用いられた反射鏡(図 7)はパラメータが

- (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、 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 以上のスキャン範囲がある近傍界測定装置が必要とされ、AMETLAB が用いられた。使用した鏡面の焦点距離が 3.4m 程度あったが、アンテナの高さは床から 6m 以下の高さに収まっており、AMETLAB で測定が可能となった。



(a) 測定に用いた 16 素子アレーのパラボラアンテナ



(b) メッシュ鏡面反射鏡アンテナ

図 7 16 素子アレーのパラボラアンテナ [9]

4.2 衛星通信用オフセットパラボラアンテナ

NICT の研究グループが地上／衛星共用電話システム (Satellite / Terrestrial Integrated mobile Communication System, STICS)の研究・開発を行っており、2011 年度に全国共同利用として AMETLAB を利用し、測定を行っている。このシステムはアレー給電反射鏡アンテナを用い、給電部をフェーズドアレーで構成し、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。最終的な衛星搭載の想定は 100 素子 100 ビ

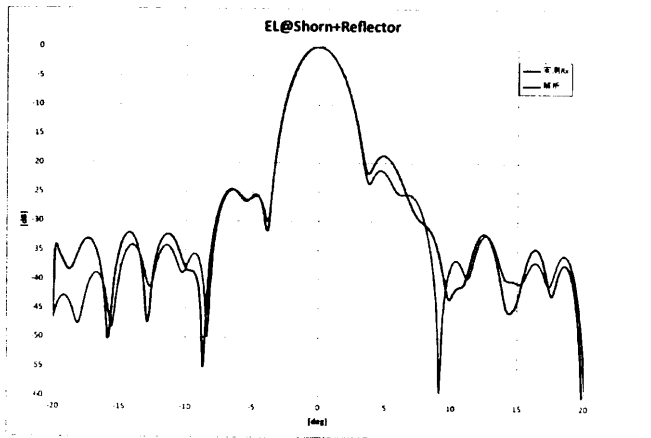


図 8 S 帯ホーン給電での測定結果と計算結果 (カットパターン (XZ-Plane) (E1 カット)) [9]

図 8 に S 帯ホーン給電での測定結果と計算結果を示す。周波数は 1995.1MHz、受信モード、カット位置はピークカット、デュアル偏波プローブで測定した結果である。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) との比較を行っている。メインローブから 20dB 以内の電力範囲内では計算値と測定値が良く合っており、測定の妥当性が示されていることがわかる。

5. まとめ

京都大学生存圏研究所の全国共同利用設備である AMETLAB の仕様性能とフェーズドアレーアンテナの測定例について示した。今回は 256 素子の 5.8GHz CW フェーズドアレーと、直径 3.3m、16 素子給電のフェーズドアレーパラボラアンテナの測定例を示したが、AMETLAB はこれら以外に様々なアンテナの測定に用いることが出来る。既存の METLAB、SPSLAB と合わせ、本設備が全国の研究者に活用されることを願っている。

謝 辞

図 7(b)及び図 8 は文献[9]を予稿とした研究会におけるプレゼンテーションマテリアルを NICT 織笠光明氏、藤野義之氏からご提供いただいた。ご協力に感謝します。

文 献

- [1] Matsumoto, H., "Research on Solar Power Station and Microwave Power Transmission in Japan : Review and Perspectives", *IEEE Microwave Magazine*, pp.36-45, December 2002..
- [2] Shinohara, N., "Power without Wires", *IEEE Microwave Magazine*, Vol.12, No.7, pp.S64-S73, December 2011
- [3] Matsumoto, H., N. Shinohara, T. Miura, and K.

Hashimoto, "Radio Wave Anechoic Chamber for the Microwave Energy Transmission Experiments", *Proc. of Int. Symp. on Antennas and Propagation (ISAP96)*, Proceedings Vol.2, pp.409-412, 1996

- [4] Shinohara, N., H. Matsumoto, and K. Hashimoto, "Phase-Controlled Magnetron Development for SPORTS : Space Power Radio Transmission System", *The Radio Science Bulletin*, No.310, pp.29-35, 2004
- [5] METLAB 全国共同利用
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/metlab/>
- [6] 宇宙基本計画
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/keikaku/keikaku_honbun.pdf
- [7] 齊藤孝, 三原庄一郎, 布施義春, 伊地智幸一, "マイクロ波電力伝送地上実験に向けての進歩", 第 14 回 SPS シンポジウム, pp.9-14, 2011
- [8] Homma, Y., T. Sasaki, K. Namura, F. Sameshima, T. Ishikawa, H. Sumino and N. Shinohara, "New Phased Array and Rectenna Array Systems for Microwave Power Transmission Research", *Proc. of IMWS-IWPT2011*, pp.59-62, 2011
- [9] 織笠光明, 藤野義之, 佐藤正樹, 浜本直和, 辻宏之, "地上衛星共用電話システム用小規模受信 DBF 装置の基礎実験", *信学技報 WPT2011-37*, pp.61-66, 2012