

# 近傍界測定を用いたアンテナ利得測定における信号ドリフトの補正

## *Correcting Instable Signal in Near-Field Antenna Gain Measurement*

三浦 周 田中正人

MIURA Amane and TANAKA Masato

### 要旨

アンテナ利得の測定を、アンテナの近傍界測定及び比較法を適用して行う際、測定信号の振幅/位相ドリフトが問題となる。本稿では、この信号ドリフトの補正方法を検討する。検討した方法は2段階に分けられる。一つは供試アンテナの近傍界測定中に基準点信号電力を一定時間毎に測定し、これを用いて近傍界分布の補正を行う手順である。もう一つは1回目の測定の開始時と終了時の基準点信号電力の差で2回目の測定開始時の電力を補正する手順である。本稿では後者の手順を新たに提案する。信号ドリフト補正の効果を検証するため、実効開口径60 cmのオフセットパラボラアンテナを2度続けて測定し、利得差を評価した。測定周波数28 GHzの場合、利得差は補正全くなしの場合に-0.24 dB、基準点信号電力補正のみ用いた場合に-0.59 dBであった。これに対し基準点信号電力補正と電力差の補正の二つを併用した場合に利得差は0.06 dBと最も小さくなった。40 GHzにおける測定結果でも同様の傾向が見られた。信号ドリフトによる測定誤差は、測定精度の目標をほぼ満足した。

This paper describes a technique for correcting errors caused by a signal's drift over time during a near-field antenna gain measurement. Our error correction technique is composed of the following two steps. (1) A near-field signal is corrected by using the reference signal power curve. The reference signal powers at a certain position of the probe antenna are measured during NFM for both a standard gain antenna (SGA) and the antenna under test (AUT). (2) The signal power difference between the end and start of the first antenna measurement is used to correct the signal power of the second antenna measurement. The second step is newly introduced in the paper. When a signal radiated from an offset parabolic-reflector antenna was measured twice consecutively at 28 GHz, the gain difference between the two measurements obtained using error correction techniques (1) and (2) was 0.06 dB; without error correction it was -0.24 dB; with error correction (1) only it was -0.59 dB. The measurement results at 40 GHz indicated a similar trend. The gain differences, which can be measurement errors caused by the signal drift, almost satisfied the requirement for measurement accuracy.

### 【キーワード】

近傍界測定, アンテナ利得, 比較法, 信号ドリフト, 補正

Near-Field Antenna Measurement, Antenna Gain, Gain-Transfer Method, Signal Drift, Correction

## 1 はじめに

アンテナの利得を測定する方法としては比較法<sup>[1]</sup>が簡便であり、よく用いられる。比較法で

は通常、利得が既知の基準アンテナと利得が未知の供試アンテナの電力をアンテナの遠方界で測定し、その差から供試アンテナの利得を求めるところで遠方界距離の目安は $2D^2/\lambda$  ( $D$ はア

ンテナ径、 $\lambda$ は波長)で与えられる[2]。したがって、供試アンテナの高周波数化及び大口徑化に伴い遠方界距離が大きくなり、測定場所が大規模になる。この場合、アンテナの近傍界測定[3]が有効である。近傍界測定はアンテナの近傍でプローブを面的に走査して電界の振幅と位相を測定し、電磁界理論に基づいて計算で遠方界放射パターン等のアンテナの特性を求める方法である。

一方、近傍界測定はアンテナの放射電力の大部分をプローブが捕そくすることを前提としているため、測定点数が大きくなり、測定時間が長くなる。そのため、測定信号の振幅/位相ドリフトが問題となる。したがって、測定系を設計する際には振幅/位相安定度を高める対策が重要となる。しかしながら供試アンテナの周波数が高く、口径が大きくなるほど、測定信号の振幅/位相ドリフトの抑制は困難となる。例えば周波数が高くなるほど波長が短くなるためケーブルの電気長の変化による位相ドリフトは増大する。また、アンテナの大口徑化に伴う測定点数の増加は測定時間を増大させ、信号ドリフトの可能性を増やす。したがって、振幅/位相安定度を高めるための対策と同時に、信号ドリフトを補正する方法が必要となる。

筆者らは、アンテナの近傍界測定を用いてアンテナ利得を測定する際に発生する信号ドリフトの補正方法を検討してきた[4]。近傍界測定時の信号ドリフトを補正する方法として、供試アンテナの近傍界測定中に基準点の信号電力を一定時間ごとに測定し、これを用いて近傍界分布の補正を行う方法が実用化されている[5]。したがって、近傍界測定で比較法を用いてアンテナ利得を測定する際にもこの補正法を適用するとよいが、比較法では測定を2度(基準アンテナと供試アンテナ)行いその差を求めるため、前述の補正方法に加えて、1回目の測定の開始時と終了時の基準点信号電力の差で2回目の測定開始時の電力を補正する必要がある。

本稿では、アンテナの近傍界測定において比較法を用いてアンテナ利得を測定する際に発生する信号ドリフトの補正方法について記述する。基準点信号電力を用いた補正に加えて、1回目の測定開始時と終了時の電力差で2回目の測定開始

時の電力を補正する手順を新たに提案する。補正方法の有効性を検証するため、実効開口径60 cmのオフセットパラボラアンテナを対象に、28 GHzと40 GHzで測定を行う。

## 2 近傍界アンテナ測定を用いたアンテナ利得測定における信号ドリフトの補正

### 2.1 遠方界アンテナ測定における比較法

遠方界測定における比較法[1]は、利得が既知のアンテナ(基準アンテナ)に対する供試アンテナのピーク電力の比を測定することで、供試アンテナの利得を求める方法である。図1に概念図を示す。送信機SGにつながれた利得 $G_T$ の送信アンテナから電波を放射し、距離 $R$ ( $>2D^2/\lambda$ 。Dはアンテナ径、 $\lambda$ は波長)離れた位置に基準アンテナ、供試アンテナを置く。受信機 $R_x$ に基準アンテナを接続し、受信電力 $P_S$ を測定する。次に、受信機 $R_x$ に供試アンテナを接続し、受信電力 $P_A$ が $P_S$ と等しくなるように、補正された可変減衰器の減衰量 $\alpha$ を設定する。このとき、供試アンテナの利得 $G_A$ はdB表記で以下の式(1)で与えられる。

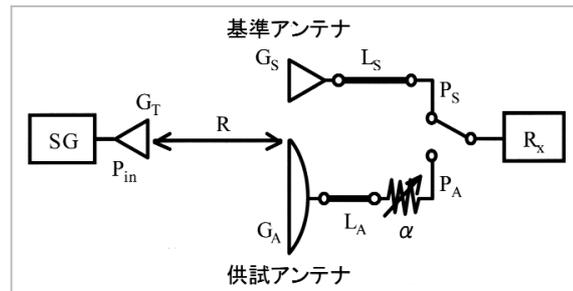


図1 比較法によるアンテナ利得測定(遠方界測定)

$$[G_A]_{dB}=[G_S]_{dB}-[L_A]_{dB}+[L_S]_{dB}+[\alpha]_{dB} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし $G_S$ は基準アンテナの利得、 $L_A$ 、 $L_S$ は各接続線路の損失である。以上の方法が基本的な利得の測定法であるが、受信機の直線性が保証されていれば可変減衰器を用いずに受信機の読み $P_A$ 、 $P_S$ の差を取ることで以下の式(2)のように利得を求めることができる。

$$[G_A]_{dB}=[G_S]_{dB}-[L_A]_{dB}+[L_S]_{dB}+[P_A]_{dB}-[P_S]_{dB} \quad \dots\dots\dots(2)$$

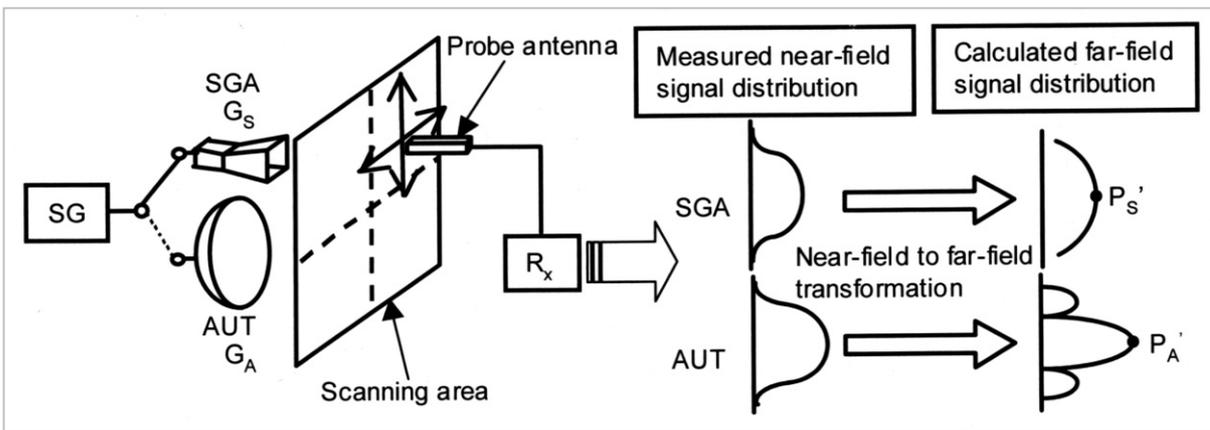


図2 比較法によるアンテナ利得測定（近傍界測定）

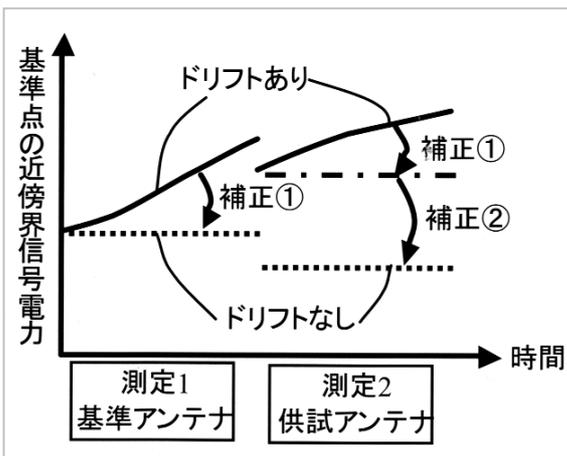


図3 近傍界測定を用いたアンテナ利得測定における信号ドリフトの模式図

## 2.2 近傍界アンテナ測定における信号ドリフトと提案する補正方法

近傍界測定で比較法を行う場合の測定方法を図2に示す。近傍界測定ではプローブを走査して得たアンテナの近傍界分布に近傍界-遠方界変換を行って遠方界分布を求め、前章で述べた遠方界測定による比較法における受信機の読み  $P_A$ 、 $P_S$  に相当するものはこの遠方界分布のピーク電力  $P_A'$ 、 $P_S'$  である。ただし、測定中に信号電力のドリフトがある場合、遠方界ピーク電力にも誤差が生じる。図3は信号ドリフトの模式図である。横軸は時間、縦軸はプローブ位置を基準点（例えば信号強度の大きいアンテナ正面の位置）に固定したと仮定した場合の近傍界信号電力である。測定1は基準アンテナの測定を、測定2は供試アンテナの測定を表す。ドリフトありの曲線（実線）を補正してドリフトなしの曲線（点線）にするには、以下の2段階の補正が必要である。

- ① 各測定における近傍界分布の補正
- ② 測定1の信号電力のドリフトに伴う測定2開始時の電力の補正

そこで、上記2段階の補正を併用し、近傍界測定で比較法を用いてアンテナ利得の測定を行う手順を以下に示す。

(a) 基準アンテナと供試アンテナの近傍界測定を順番に行う。その際、測定中に基準点信号電力を一定時間ごとに測定し、基準点信号電力の特性曲線を作る。測定した近傍界信号電力分布をこの特性曲線で補正する（補正①）。近傍界-遠方界変換によって基準、供試アンテナの遠方界分布を求め、それぞれのピーク電力  $P_S'$ 、 $P_A'$  を求める。

(b) 測定1における、測定終了時と測定開始時の基準点信号電力の差  $P_D$  を求める（補正②の補正量の算出）。

(c) 以下の式からアンテナ利得を求める。

$$[G_A]_{dB} = [G_S]_{dB} - [L_A]_{dB} + [L_S]_{dB} + [P_A']_{dB} - [P_D]_{dB} - [P_S']_{dB} \dots \dots \dots (3)$$

補正①は文献[4]で提案され、既に実用化されている。本稿では補正②を新たに提案する。

## 2.3 測定

比較法を用いてアンテナ利得を測定する場合、信号ドリフト以外に以下の誤差要因が考えられる。

- ・基準アンテナのアンテナ利得の誤差。汚れや変形により較正データと実際の利得に差があることが考えられる。
- ・基準アンテナと供試アンテナの違いに起因する誤差。送・受信アンテナ間の偏波の不

整合の量や、受信機と受信アンテナ間のインピーダンス不整合の量が、両アンテナで異なると考えられる。

本研究の目的は信号ドリフトの補正の効果を検証することである。そこで、信号ドリフト以外の誤差要因をできる限り除外するため、基準アンテナは測定に使用しないこととした。測定は、同一の供試アンテナを2度続けて測定し、以下の三つのケースについて利得差がゼロ、すなわち利得が等しくなるかどうかを調べた。

- (a) 補正なし
- (b) 補正①
- (c) 補正①と補正②の併用

なお、2回の測定で接続線は同一であるためアンテナ利得の式(3)において $L_A=L_S$ である。表1に測定条件を示す。測定に使用したアンテナは鏡面がアルミニウム製のオフセットパラボラアンテナ(実効開口径60 cm)であり、一次給電部は円偏波アンテナである。測定に使用した近傍界測定装置は通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センターの衛星通信電波試験棟[6]の電波暗室内に設置された、1.8 m × 1.8 mの平面走査可能な装置である(NSI社製300V-6 × 6)。図4に近傍界測定装置と供試アンテナの設置風景を示す。

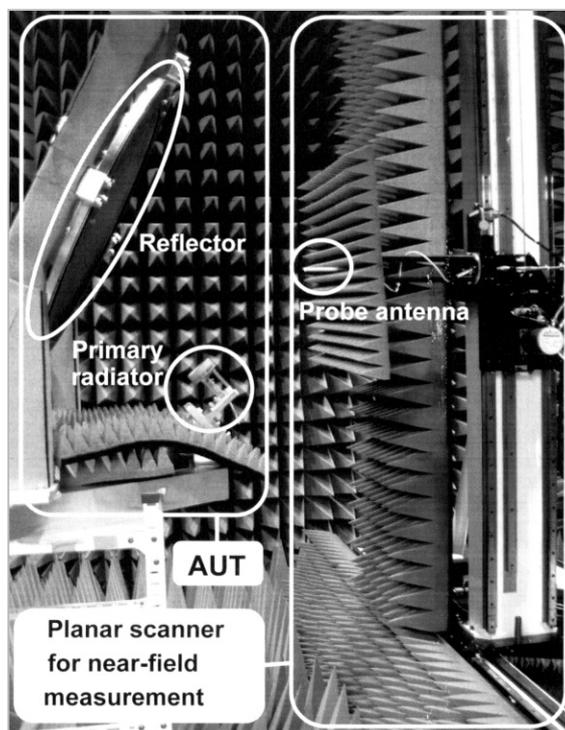


図4 測定系の外観

測定周波数は28 GHzと40 GHzである。基準点信号電力の補正における基準点の種類には信号強度の大きい1点など幾つか考えられるが、今回の測定では一例として、走査中心を中心とした正方形の頂点4点(間隔20 cm)を基準点に選択し平均値を取った。基準点を測定する周期は180秒とした。

図5、図6にそれぞれ28 GHz、40 GHzで測定した基準点信号の振幅特性曲線を示す。信号電力の振幅変動幅は28 GHzでは測定1で0.65 dBp-p、測定2で0.38 dBp-p、40 GHzでは測定1で1.66 dBp-p、測定2で0.22 dBp-pであった。また、図7、図8に28 GHz、40 GHzにおける基準点信号の位相特性曲線を示す。位相変動幅は28 GHzでは測定1で31.5度p-p、測定2で13.3度p-p、40 GHzでは測定1で137.9度p-p、測定2で19.9度p-pであった。以上のことから、測定ごとに基準点信号電力曲線を用いた近傍界分布の補正が必要と考えられた。図9に、28 GHzの測定の1回目について、基準点信号曲線による補正を行う前後の近傍界振幅/位相分布の差を三次元表示した。図9(a)は振幅分布の、図9(b)は位相分布の差を示している。X、Y軸は走査面内の水平、垂直位置を、縦軸は電界の振幅差又は位相差を示す。

表1 測定条件

条件	仕様
供試アンテナ	
方式	オフセットパラボラ
鏡面	アルミ(実効開口径60 cm)
給電部	円偏波(RHCP)
近傍界測定	
測定周波数	28 GHz、40 GHz
走査法	平面走査
走査範囲	W1.2 m × H1.3 m
測定点数	28 GHz: 238 × 251 40 GHz: 339 × 359
給電部-プローブ間距離	28 cm
サンプル間隔	<0.5λ
平均回数	64回
基準点補正	
基準点位置	走査中心を中心とした 正方形の頂点4点(間隔20 cm)
基準点測定周期	180秒
1回の測定時間	28 GHz: 128分 40 GHz: 252分

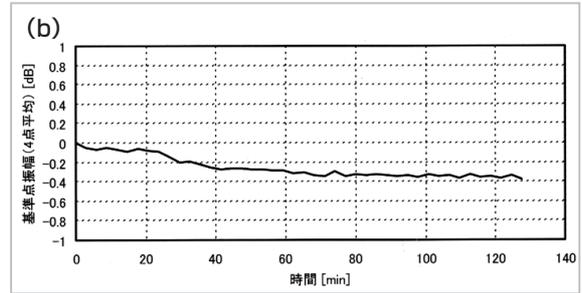
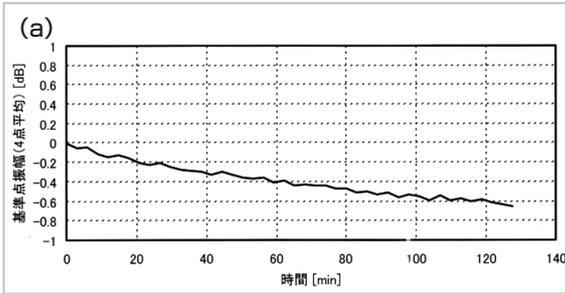


図5 基準点信号電力の振幅特性曲線(28 GHz)。(a)測定1、(b)測定2

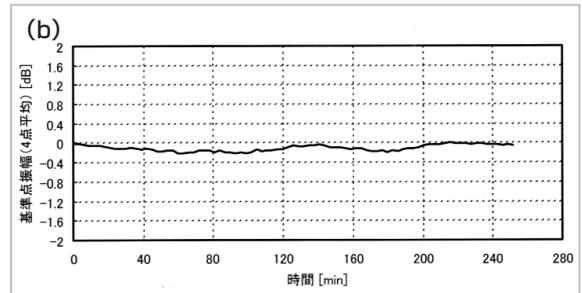
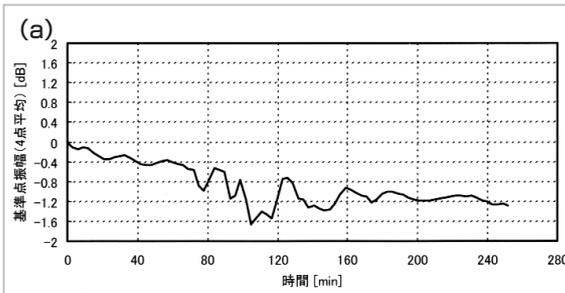


図6 基準点信号電力の振幅特性曲線(40 GHz)。(a)測定1、(b)測定2

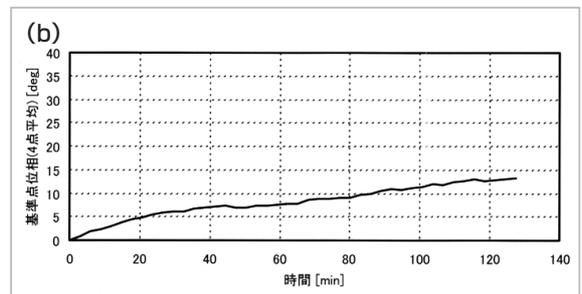
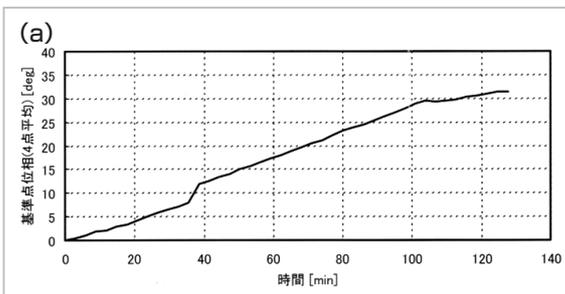


図7 基準点信号電力の位相特性曲線(28 GHz)。(a)測定1、(b)測定2

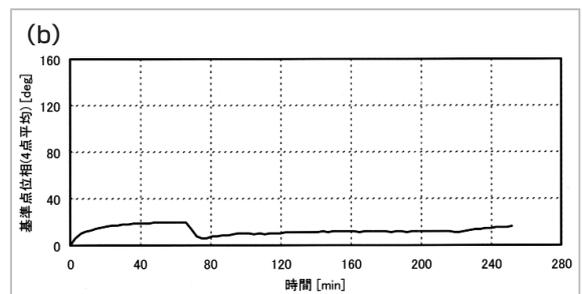
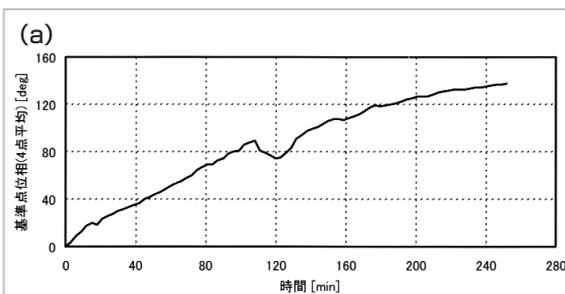


図8 基準点信号電力の位相特性曲線(40 GHz)。(a)測定1、(b)測定2

図を見やすくするためデータは5点間隔で間引いてある。図9(b)の三次元表示に部分的に欠落があるのは、補正前と後の位相分布において位相が180度(= -180度)近辺で符号が異なる位相を取る場合に位相差が大きい値となり、図が見にくいため、その位置の位相差を非表示にしたことによる。図9から、補正前後の振幅、位相には差があることが観測された。さらに、近傍界分

布の補正が遠方界分布に与える影響を調べるために、補正前の遠方界分布におけるピーク電力と補正後のピーク電力の差を各測定について求めた。表2に結果を示す。ピーク電力は補正前後で0.16 dB~2.97 dBの差があった。このことは、基準点信号電力による補正の効果があったことを示している。なお、40 GHzの測定1におけるピーク電力の差2.97 dBは他の測定に比べて大き

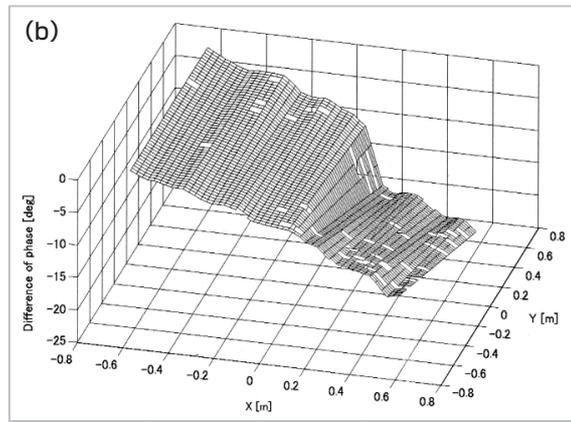
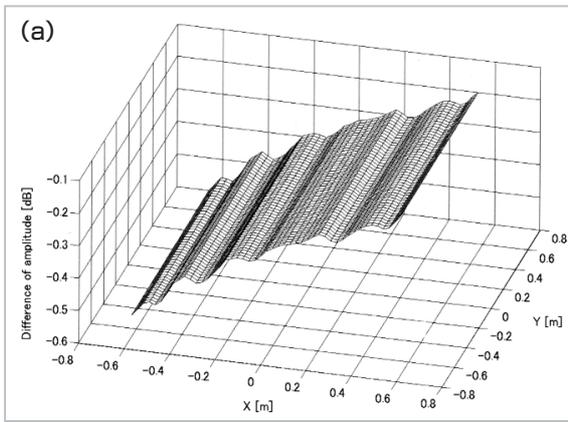


図9 基準点信号電力曲線による補正前後の近傍界分布の差(28 GHz、測定1)。(a)振幅分布の差、(b)位相分布の差

表2 基準点信号電力曲線による補正前後の遠方界ピーク電力の差

周波数	測定1	測定2
28 GHz	0.63 dB	0.29 dB
40 GHz	2.97 dB	0.16 dB

かった。これは、図6(a)に示した基準点信号電力の振幅特性曲線において、60～160分の間に振幅の変動が1.2 dBp-p程度あったことが影響している。基準点信号電力による補正の効果が高いのは、特にこのような大きい信号ドリフトが発生した場合であると考えられる。

一方、図5、図6から測定1の開始点—終了点の信号電力差 $P_d$ は、28 GHzのとき-0.65 dB、40 GHzでは-1.29 dBであった。よって、測定2の開始時の電力を補正する必要があることが予想された。

図10に三つのケースにおける測定1回目、2回目の利得差を示した。28 GHzでは、補正全くなしの場合利得差は-0.24 dB、補正①のみ用いた場合は-0.59 dB、補正①と補正②を併用した場合は0.06 dBに抑えられた。これは以下のように解釈できる。すなわち補正①は測定1、2でそれぞれ異なる測定開始点の信号電力を基準として補正を行っているために、各々の近傍界分布自体は補正されるものの利得差が残った。そこで、測定2開始時の電力の補正を行い、測定1、2の開始点の信号レベルを合わせることによって、2回の測定の利得差を低減できたと考えられる。この傾向は40 GHzでも同様であった。補正全く

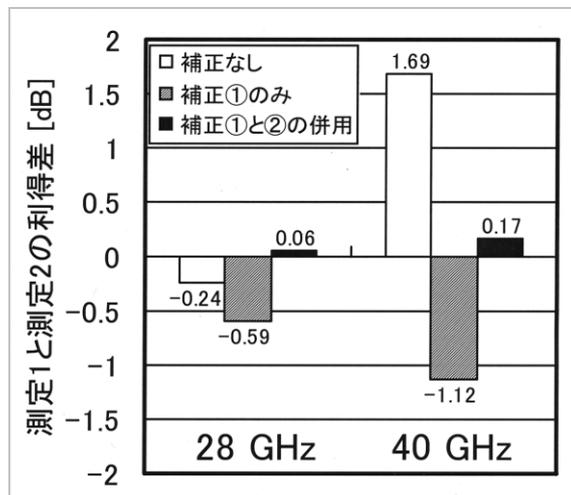


図10 測定結果の比較

なしの場合の利得差は1.69 dB、補正①のみ用いた場合は-1.12 dBとなり、利得差は28 GHzの場合より大きかったが、2種類の補正の併用により、利得差は0.17 dBに抑えられた。

## 2.4 考察

通信総合研究所は準天頂衛星搭載用大型展開アンテナ[7]を提案しており、アンテナの反射面として金属メッシュを想定している。この金属メッシュのKa帯での電気的特性を測定する一環として、メッシュを張り付けたGFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) 製パラボラアンテナと、基準として用いたアルミニウム製の鏡面との利得の差を評価した[8]。その際、測定精度の目標を0.1 dB程度とした。本稿で述べた信号ドリフトの補正の結果、2回の測定の利得差、すなわち信号ドリフトによる測定誤差は28 GHzで0.06

dB、40 GHzで0.17 dBであった。したがって、信号ドリフト以外の誤差を考慮する必要があるものの、測定精度の目標はほぼ達成された。

測定中に発生する信号ドリフトの原因は、測定環境の温度変化によるケーブルの電気長の変化に伴う通過位相の変化、受信機の動作特性などが考えられる[9]。信号ドリフトを抑制するための対策として、通過位相、損失の変動の少ないケーブルを用いる、測定環境の温度を一定に保つ、受信機の立ち上げ時の過渡状態での使用を避け定常状態で使用する、などが挙げられる。測定系を設計する際にはこれらの対策をとることで振幅/位相安定度を確保する必要がある。一方で、本稿で述べた方法を行うことで、信号ドリフトを補正することが可能である。本法は特に、高周波測定や測定時間が大きい等の理由により信号ドリフトが測定精度に影響を与える場合に有効な対策になると考えられる。

### 3 むすび

アンテナ利得の測定を、アンテナの近傍界測定及び比較法を適用して行う場合に、測定信号の振幅/位相ドリフトが問題となる。本稿では、この信号ドリフトを補正する方法について検討した。検討した方法は2段階の手順の併用であり、一つは基準点信号電力を用いて近傍界分布を補正する手順、もう一つは1回目の測定の開始時と終了時の基準点信号電力の差で2回目の測定開始時の電力を補正する手順であった。本稿では後者を新たに提案した。信号ドリフト補正の効果を検証するため、実効開口径60 cmのオフセットパラボラアンテナを2度続けて測定し、利得差を評価した。28 GHzの場合、利得差は補正全くなしの場合に-0.24 dB、基準点信号電力補正のみ用いた場合に-0.59 dBであり、これに対して基準点信号電力補正と電力差の補正を併用した場合に0.06 dBと最も小さかった。40 GHzにおける測定結果でも同様の傾向が見られた。信号ドリフトによる測定誤差は、測定精度の目標である0.1 dB程度をほぼ満足した。以上から、提案する信号ドリフト補正法の有効性が示された。

#### 参考文献

- 1 G. E. Evans, "Antenna Measurement Techniques", Artech House, Boston, 1990.
- 2 電子通信学会編, アンテナ工学ハンドブック, オーム社, 東京, 1980.
- 3 D. Slater, "Near-Field Antenna Measurements", Artech House, Boston, 1991.
- 4 三浦, 田中, "近傍界測定を用いたアンテナ利得測定における信号ドリフトの校正方法に関する検討," 信学技報, 25-28, AP2002-60, 2002.
- 5 D. Slater, "A 550-GHz Near-Field Antenna Measurement System for the NASA Submillimeter Wave Astronomy Satellite", Antenna Measurement Techniques Association Conference, Oct.1994.
- 6 飯草, 田中, 若菜, "衛星通信電波試験棟," 通信総合研究所季報, 181-192, Vol.45, No.3/4, 1999.
- 7 田中, 三浦, 吉原, 飯倉, 内丸, 佐藤, 津久茂, "移動体衛星通信用大型展開アンテナの展開機構の検討," 第46回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1178-1181, 3C18, 2002.
- 8 三浦, 田中, "移動体通信・放送衛星大型展開アンテナ用メッシュ反射面の電氣的特性," 第46回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1132-1137, 3C9, 2002.
- 9 飯草, 堀, シュミット, "近傍界アンテナ測定システムの誤差要因とその対策," 通信総合研究所季報, 23-36, Vol. 39, No. 1, 1993.



三浦 周

無線通信部門鹿島宇宙通信研究センター  
モバイル衛星通信グループ研究員  
博士（情報科学）  
アンテナ、衛星通信



田中正人

総務部 CRL・TAO 統合準備室主任研究員  
博士（工学）  
アンテナ、衛星通信