

HRO流星電波観測システムの構築とアンテナ性能試験

服部 忍*1 大西浩次*2 藤澤雄章*3 宮沢明子*3 石川寿之*4
 遠藤 誠*4 柞山 快*5 丸山俊之*4 伊藤雄作*4 川邨雅貴*4
 柳沢雅俊*6 徳永麻伊*7 山田真澄*8

HRO Meteor Radio Observations System and Antenna Performance Test

Shinobu HATTORI, Kouji OHNISHI, Takefumi FUJISAWA, Akiko MIYAZAWA,
 Toshiyuki ISHIKAWA, Makoto ENDO, Kai HOSAYAMA, Toshiyuki MARUYAMA,
 Yusaku ITO, Masaki KAWAMURA, Masatoshi YANAGISAWA, Mai TOKUNAGA
 and Masumi YAMADA

Ham-band Radio Observation (HRO) is one of the observational techniques of the forward scatter observation meteors. We construct the observation system for meteor observation using ham-band radio (50.750MHz, 50W from Fukui). This system has two-element loop antennas (F/B ratio is 10 dB), communication receivers and personal computer systems. We convert radio frequency echoes into the audio spectrum. We are proceeding with the research of the way of revising the observation data which was gotten from each HRO observation point.

キーワード：HRO，観測システム，ループアンテナ，指向性，F/B比，補正

1. ま え が き

近年，流星観測において，光学観測に加えて電波を利用した流星電波観測が行われている。流星電波観測は，電波を流星に向け送信し，流星で反射した電波を受信して，流星の存在を観測するものである。光学観測とは違い天候に左右されずに24時間連続で流星現象をモニターすることができる。流星電波観測の中でも，利用する電波としてアマチュア無線(Ham)の電波を利用したHRO(Ham-band Radio Observation)と呼ばれる観測方法が注目されている。アマチュア無線の電波利用により，①ハムバンド(アマチュア無線用周波数帯)には流星電波観測に適した周波数帯が複数存在し，比較的容易に電波を送受信することができる。また，アマチュア無線の愛好家が多いため，②高精度の受信機等が比較的安価に入手でき，③観測ネットワークを構築

する際，多数の参加者が見込める。そのため，今後HROによる流星電波観測がますます活発に行われるようになるものと期待される。

しかし，現在のところ電波観測による流星数の補正法は確立されていない。各地域の観測データはアンテナ形状，電界強度特性，受信感度特性，流星数のカウント方法などの測定条件が統一されておらず，測定された各観測点の数値を比較するのは困難である。これを解消するためには，各グループの観測環境の違いにより観測データを補正する必要がある。

現在，HROにとって最も重要なことは，観測された各地のデータが科学的に有用なデータとして活用できるように標準の観測法を確立することであり，それぞれの観測環境を考慮した補正法を見出すことであると考えられる。こうして標準観測法が整備された後には，宇宙空間にある彗星ダストや星間ダストの不均一な分布等の検出が，地球上の広域に渡ったHRO観測の実施により得られた観測データを比較することで実現可能となる。このように，観測環境の違いが，観測データにどのように影響を与えるかを定量的に検証する必要がある。

そこで，HRO観測データの比較をどのように行うべきかを検討するため，現在観測に用いているHRO流星電波観測システムを紹介し，アンテナの特性実験結果を踏まえ，必要な検討を行っている。

*1 電子制御工学科助教授

*2 一般科助教授

*3 元電子制御工学科学生

*4 電子制御工学科学生

*5 電子情報工学科学生

*6 機械工学科学生

*7 環境都市工学科学生

*8 電気工学科学生

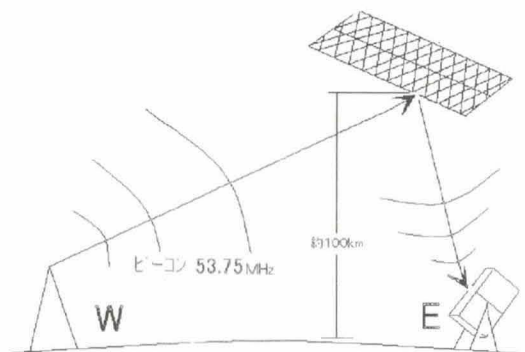


図1. 流星による電波反射

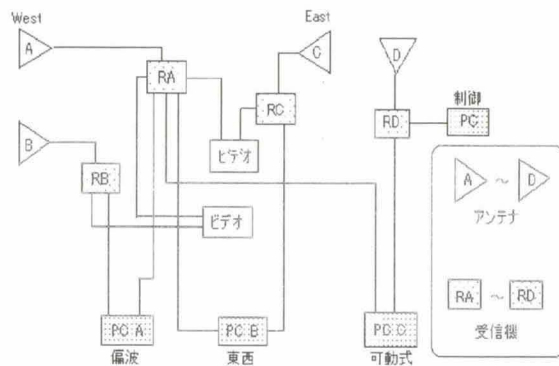


図2 システムチャート

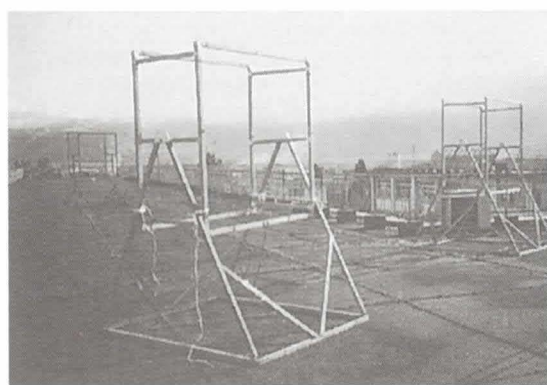
2. HRO 流星電波観測システム

HRO 流星観測 (以下, HRO) とは, 図1に示すように流星が大气に突入した際, 地上約100kmの高度にできる流星プラズマに電波が反射する性質を利用した流星観測法のひとつである. 使用している電波は, ハムバンドの一つである50MHz帯で, 福井工業高等専門学校のアマチュア無線局が送信している53.750MHzのビーコン電波(SSB波)である.

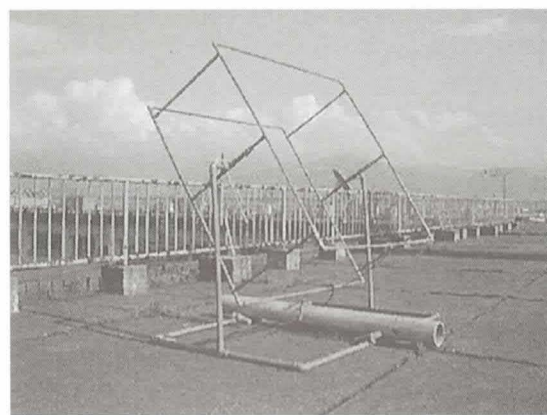
HRO 流星電波観測用に構築したシステムは, 図2のフローチャートに示すような構成になっている. 福井高専で送信された電波は流星プラズマで反射され, 長野高専に設置されたアンテナに到達し, 受信機で音声出力の形に変換される. 変換された信号はパソコンに取り込まれ, 流星検出ソフトにより流星エコーとして画像データに変換され記録されている. さらに, バックアップ用として受信機の音声出力はビデオテープにも保存されている. 次に, 各装置について述べる.

2・1 アンテナ

HRO 流星電波観測システムのアンテナとして, 53.750MHzの電波反射点領域の移動を検出するための2台の自作可動2素子ループアンテナ, 偏波観測専用の自作可動2素子ループアンテナおよび31.570MHz固定2素子ループアンテナ, 144MHz2素子ループアンテナ等を製作した. 図3(a),(b)に自作した53.750MHz用アンテナを示す. 本システムのアンテナは, 一片が1/4波長の正方形の枠組みにアンテナ線を張り付けたラジエータと, それより数パーセント長くしたリフレクターから成る2素子のループアンテナである. ループアンテナは, 方向探知用としても用いられるアンテナで, ループ面と電界ベクトルが平行のときに受信感度が最大となる.



(a)



(b)

図3 53.750MHz用ループアンテナ

2・2 受信機およびデータ処理

本システムでは, 図4に示すように受信機としてICOM IC-R75を使用している. ICOM IC-R75は, 受信範囲が0.03MHz~60MHzのオールモード受信機である. 受信感度は使用している50MHz帯SSBモードで, $-18\text{dB}\mu$ 以下となっている. 受信はUSBモード, 53.749MHzで行い, 流星は流星エ

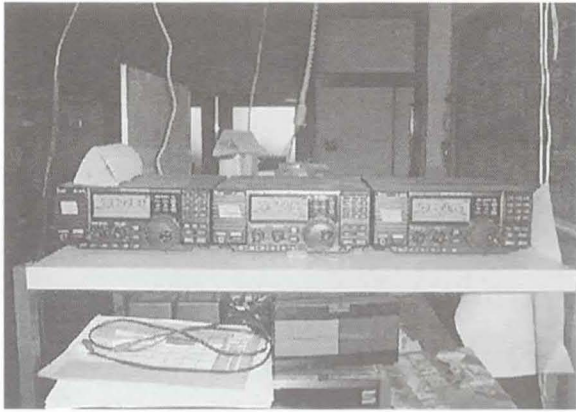


図4 受信機 (ICOM IC-R75)



図5 パソコンによるデータ処理

コーとして音声出力される。そして、図5のようにパソコンに取り込んでデータ処理している。データ処理は大宮工業高校の大川一彦氏制作の流星検出ソフト“HROFFT”を使用し、流星エコーを画像データとしてPCに記録している。図6に画像データ例を示す。

本システムは、テスト観測を行い観測システムの安定性を確認してから観測を始めた。2000年の11月より合計6台の自作アンテナおよび受信機を使い、イーサネットをつないだ4台のPCでデータを収集、3台のPCで解析するHRO流星電波観測システムを構築している。各アンテナで捕らえた流星を比較するためNTPサーバにアクセスして個々の時刻の誤差を1/100秒以内に抑えている。

これにより、ある流星を複数のアンテナで捕らえ、流星の大まかな方向を決定することができる。

2・3 本システムでの観測

定常観測用の2素子自作ループアンテナは、約1ヶ月間のテスト観測を行った。2000年9月よりテスト観測から定常観測に入り、約2ヶ月間の観測によって日々の流星活動の周期パターンや昼間の流星群(六分儀座流星群)の検出に成功した。この間に流星位置決定システムの開発の実験として対の2素子ループアンテナを東西にむけて設置し(福井高専方向Wと反福井高専方向E)、11月より反射点移動検出用、偏波用など合計6台の自作アンテナによる

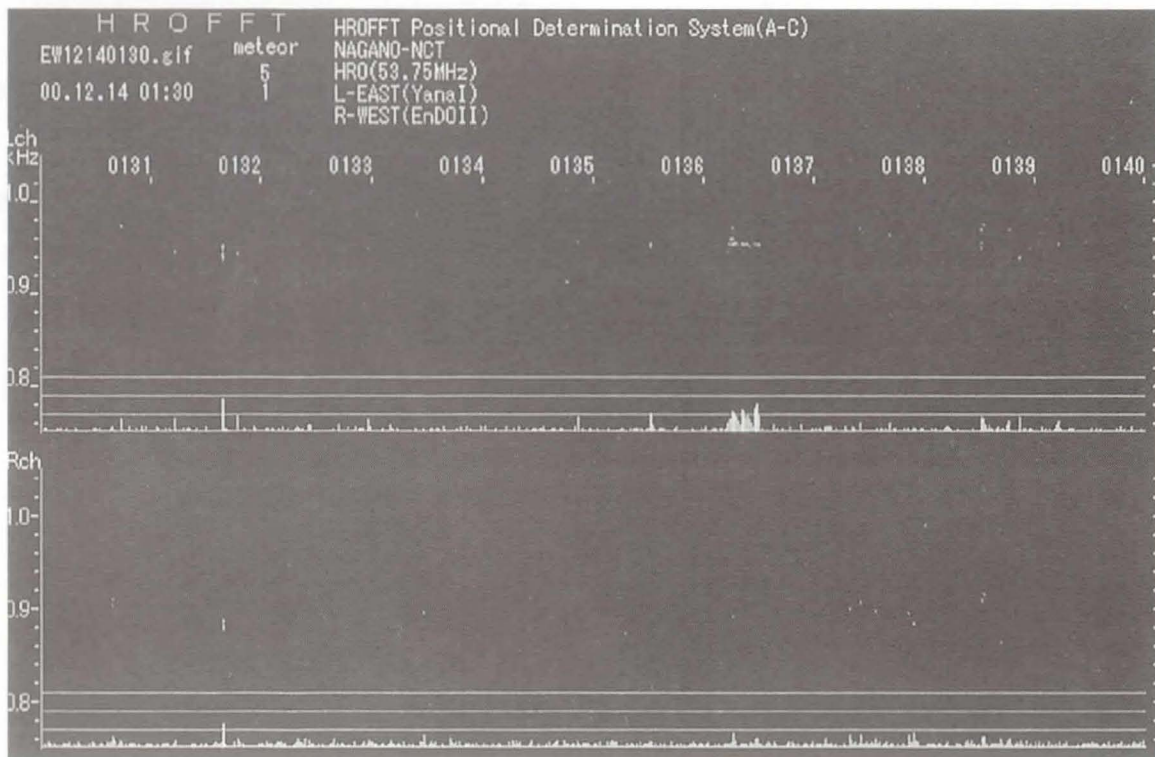


図6 表示例

新システムでの観測を開始した。これまでにペルセウス座流星群、しし座流星群、ふたご座流星群、四分儀座流星群などさまざまな流星群の活動状況を電波観測でモニターしている。

2.4 アンテナ製作における留意点

アンテナを設計するにあたり、波長およびインピーダンスのマッチング以外に特に留意する点として、外部からのノイズの影響、アンテナ設置面による輻射角への影響が考えられる。そこで、アンテナには外部からのノイズの影響を極力小さくするため、図7に示すようにノイズを誘導しない木材を用いた。そして、接合部の金属部材は、 $1/50$ 波長以下の大きさの金属プレートを加工、ボルトで固定とし、アンテナ特性への影響が軽微になるようにしている。さらに、アンテナ設置面からの反射波の影響を少なくするため、できるだけアンテナ設置高さを高くした方が望ましい。しかし、現実的には高くアンテナを設置するのが困難な場合があり、本アンテナは最低部で約1mの高さとなっている。

また、アンテナ部は仰角が大きく変えられるように 360° 回転可能な構造とし、軸の取付けを可動式にしている。このような工夫により種々の目的に合わせた観測が行うことができ、汎用性を大きくしている。

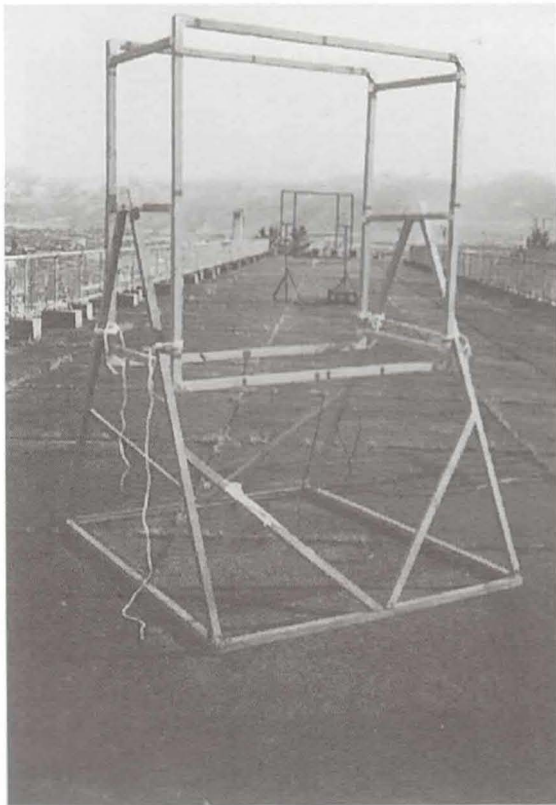


図7 53.75MHz用2素子アンテナ

3. アンテナ性能試験とアンテナの改良

現在、使用している2素子ループアンテナは、HRO観測でよく使われている2素子八木アンテナに比べてアンテナのゲインが高いこと、自作が容易なこと、指向性に八木アンテナのようなサイドローブがないことなどの利点がある。一方、指向性が悪いと言う欠点があり、流星の位置決定に利用することは難しい。以上の点を踏まえて、

(1)2素子ループアンテナの指向性の測定

(2)流星観測用アンテナの開発実験

この2点をテーマに研究を行っている。

3.1 アンテナ性能試験

50MHz帯のアンテナは1波長が6mあり、その大きさ故に、特性実験することはきわめて難しい。そこで、50MHz帯の上のハムバンドである144MHz、433MHzの各周波数の2素子ループアンテナを製作し、指向性、電波強度実験を行った。これらの周波数帯での実験結果は、50MHz帯の特性と相似形に近いという仮定の元、電界強度シミュレータの計算結果と合わせて、50MHz帯のアンテナ特性を導いた。

実験と電界強度シミュレータの結果から、2素子ループアンテナの指向性は前方（給電点側）で約 ± 60 度の範囲、そして前方受信強度対後方受信強度（F/B比）10dB（電界強度約6倍）になることがわかった。この結果は、電波反射点領域の移動検出用に置かれた二対のアンテナによる観測結果と無矛盾である。これらの実験より、方向決定並びに流星位置決定の精度を上げるためには、よりF/B比が高いアンテナが有効であることが判明した（流星位置決定をするためにはさらに指向性の高いアンテナが必要である）。

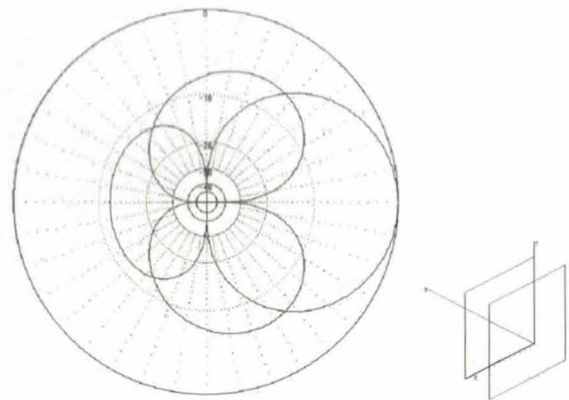


図8 2素子シミュレート

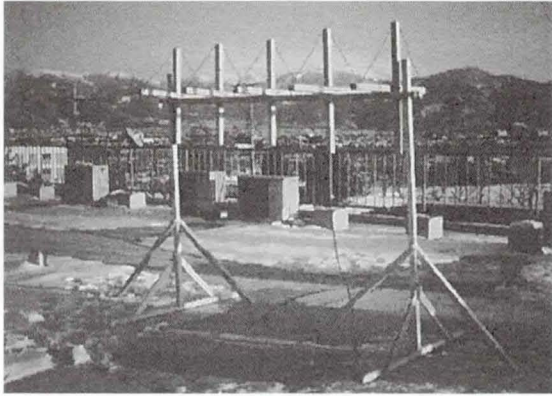


図9 144MHz 帯用5素子ループアンテナ

3.2 アンテナ開発試験

流星電波観測に適したアンテナは、前方と後方との感度比 (F/B 比) の大きいアンテナである。アンテナの F/B 比を高めて指向性を上げるためには、アンテナ形状を変える、素子数を増やすなどさまざまな方法があり、一概には言い切れないが、方向決定用には F/B 比が 20dB(受信強度比が約 1/36 倍)程度あれば充分であると考えられる。そこで 144MHz、433MHz の 5 素子ループアンテナを製作し実験を行った。図 9 は実験で用いた 144MHz 帯の 5 素子ループアンテナである。図 10 は、これらのアンテナによる実験結果である。周波数が低いほど F/B 比が高いので 50MHz 5 素子ループアンテナでは 20dB 以上の F/B 比が期待できる。

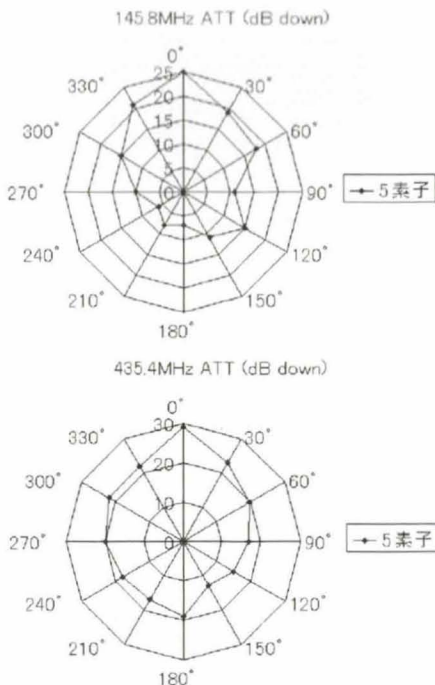


図10 2.5素子指向性実験結果

4. HRO 流星観測用アンテナの提案

前章の実験結果を見ると、各グループが行っている HRO 観測のデータを比較するには、前述のとおりアンテナ特性、受信機感度特性の違いを考慮する必要があるといえる。HRO 流星観測をするにあたって、以下のような点が補正の要因となると考えられる。

- 送信局T,受信局Rの位置
- 流星が大気中へ進入する方向
- 送信局側のアンテナパターン
- 受信局側のアンテナパターン

これらのうち、前者2つの幾何学的な補正についてはすでに発表している¹⁾。そこで、後者のアンテナパターンについて検討する。

検討に際し、必要な課題として、アンテナをはじめとする観測システムの特性の測定法、そして感度特性の補正法が挙げられる。これらができれば天候に左右されない HRO 観測が、より広く科学的データとして扱えるはずである。同時に、HRO 流星電波観測の標準的観測システムを開発し、幅広い観測ネットワークの構築を目指すものである。そのため重要な項目として、観測する側は以下のようなことが必要な事柄であると考えられる。

- アンテナパターンが一定である
- アンテナゲインが高い
- 簡単な構造のアンテナ
- 安価に製作できる

前述の項目を考慮に入れて、いくつかの有効な方法を検討している。

重要な課題の1つは、アンテナの地上高の問題である。アンテナが地上の影響を受けないようにするには数波長高い位置に上げる必要があるが、50MHz帯では数十mになるので現実的に難しい。シミュレーションの結果、地面を完全導体にしたほうが一定のアンテナパターンが得られることがわかった。完全導体の環境を得るためにはアンテナ設置場所の地面に数波長に渡って、1/4 波長程度の間隔で導線を張りめぐらせれば良い。そこで図 11 のようなアンテナ系の設計を行った。

まず、アンテナを $\lambda/8$ の高さにして張り、一辺の中央に給電点をつける。地面に張りめぐらせた銅線はリフレクターの代わりとして使うことができる。これにより電磁波的に完全導体グラウンドの環境が作りられ、アンテナの指向性は図 12 のようになり

サイドローブが全くない。ゲインは干渉効果により半波長高くする毎に強められるが指向性にサイドローブが現れる。しかもゲインの上昇もわずかであるので設置高さは 53.750MHz で最低の約 70cm とすれば簡単にアンテナの製作ができる。

このようなアンテナシステムを各地域に設置すれば、安定した観測データが得られるとともに HRO 観測のデータ比較が行えるようになっていくと思われる。

5. あとがき

HRO 流星電波観測の標準的観測システムの構築に向け、大きく分けて 3つの諸実験を行った。

- 1, 現在のアンテナ特性実験。
- 2, より高性能なアンテナの開発基礎実験。
- 3, HRO 観測用のアンテナシステムの提案。

アンテナ特性実験では、現在の 2 素子ループアンテナには F/B 比が約 10dB ある事が明らかとなった。さらに、流星位置を測定するためには F/B 比が約 20dB 必要であるが、これには 5 素子ループアンテナなどにより得られる事が判明した。また、新たな HRO 観測用のアンテナシステムを考案した。

これらはあくまで 1つの提案であるが現在の HRO 電波観測でより広範囲でのさまざまな実験を行うのであれば、システムを統一する必要がある。我々のこのような活動が 1つの補正法として実用されることを期待する。

参考文献

- 1) 宮澤明子, 大西浩次, 服部忍: 流星電波観測における流星検出効率. 日本天文学会 2001 年春季年会, L01a, (2001.4)

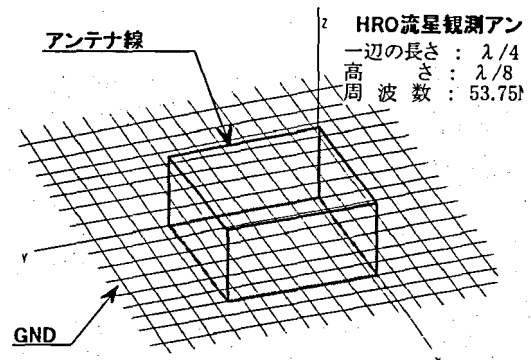


図 11 アンテナ模式図

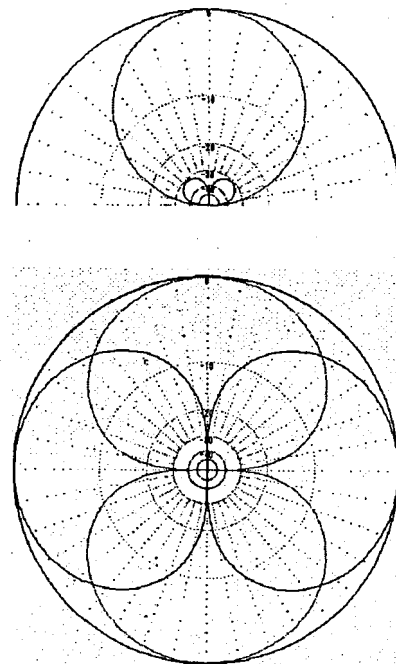


図 12 指向性シミュレート