HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Bistatic Radar Sensorの感知領域に関する実験的考察
Author(s)	本田, 栄伸; 伊藤, 精彦; 斎藤, 孝夫; 松本, 正
Citation	北海道大學工學部研究報告, 72, 25-33
Issue Date	1974-09-14
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41234
Type	bulletin (article)
File Information	72_25-34.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第72号（昭和49年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 72 (1974)

BISTATIC RADAR SENSOR の感知領域に関する実験的考察

本田栄伸* 伊藤精彦*
斎藤孝夫** 松本 正*

（昭和49年3月30日受理）

Experimental Consideration for "Sensing Zone" of Bistatic Radar Sensor

Hidenobu HONDA, Kiyohiko ITOH,
Takao SAITOH, Tadashi MATSUMOTO

(Received March 30, 1974)

Abstract

Various memoirs on the application of Bistatic Radar to a radar sensor for automobiles have been reported.

In designing such a system, two important problems appear, namely (1) the method of determination of the service area and (2) clarification of what type of information is required for the judgement of unavoidable collisions. Originally, it is more feasible to analyze the subject of region on a road surface experimentally.

In this paper, a system with two pairs of Bistatic Radars is discussed and the former was especially considered.

Two pairs of horn antennas are required in this system, thus patterns of the "highly sensitive sensing zone" are optically represented.

This optical representation may also be applied to the measurements of other antenna patterns with respect to dependence on range and angle.

1. 緒　　言

交通戦争といわれる程に自動車の発展が多くの死傷者を出している事は，人間と自動車という機械と環境とのシステム構造に欠陥があると思われる。時々刻々と変化する交通環境に対して，現在はその判断をドライバーに一任している。しかし自動車の高速化および交通量の増加に伴って，ドライバーに課せられる負担は非常に大きくなり，その判断も複雑化され，その事により人間の能力を越える部分がでてくる。エレクトロニクスによって，この人間の能力を越える部分を補う事が問題解決の一つの鍵と考えられ，いろいろなシステムが研究されつつある。

こうした背景の中で，自動車用衝突感知システムの実現は上述の要請に答える一つのテーマ

* 電子工学科　電波伝送工学講座
** トヨタ自動車株式会社

となっている。従来，自動車用衝突感知システムとして考えられてきた方式は，衝突後感知センサーといわれるものである。これは衝突信号を，車のバンパーなどメカニカルな方法で直接とらえ，これを電気的トリガー信号に変えて，ダッシュボードの下にあるバルーン状構造のもの（エアーバッグ）を展開し，車の激しい変形が乗員席に到達する前に，乗員を保護しようというものである。このエアーバッグが開き終るまでの時間は約 30 m/sec 必要であるといわれている。しかし自動車の高速化（30～40 m/sec）に伴って，この“制止時間”の値を増加させる必要が生じ，これに関するいくつかのシステムが現在研究中である[9,10,11]。

本文では，センサーとしてバイスタティックレーダーを利用する方式に基ずいて，これを実現する際の問題点の一つである“感知領域”に関する 2～3 の実験を行なった。

2. 自動車用衝突感知レーダー

障害物に関する情報としては，大きさ，硬さ，相対速度，進行方向，距離等が考えられるが，このうちのいかなる情報でシステムを構成するかによって方式はいろいろ考えられる。本文で考察する方式では，感知領域を車の前方約 2 m までに限定し，この中に入ってくる障害物に対しては，衝突が避けられないとして，すべてエアーバッグを展開してしまう。この事によって誤報による誤動作が改善できる。判定条件は，障害物の大きさと相対速度の 2 つだけである。又，障害物の大きさの分解能という点から，周波数は X-band を使う。

システムのブロック図を Fig 1 に示す。まず“制止時間”を増加させるために 2 組のバイスタティックレーダーを用い，衝突の数メートル前で，さし迫った衝突を検知する。

バイスタティックレーダー方式を使うのは次の理由による。

(1) 感知領域が平面的で，衝突感知用に適している。

(2) 送受信機間の結合をかなり取り除くことができる。(これはモノスタティックで 20～50 dB であるのに対して 80 dB もの分離度が得られる。)

2 組のバイスタティックレーダー間の結合を分離するために，左右のアンテナでその偏波面を 90° だけ変えてやり，一方は H-面，他方は E-面を利用する。また，レーダーは CW の無変調で，ドップラー効果を利用するが，それは次の様な理由による。

(1) 受信機の帯域幅が数 kHz ですむ。

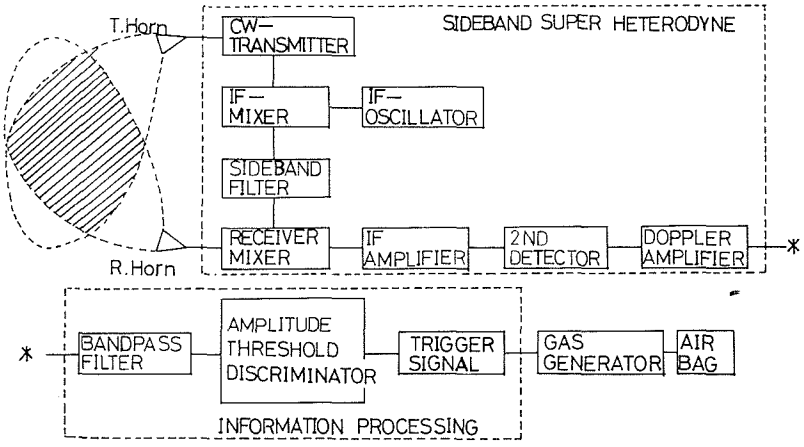


Fig. 1. Auto radar sensor block diagram

(2) 小型，軽量，設計が容易である。

(3) 最小探知距離が原理的にゼロである。

(4) 固定目標を消去し，移動目標のみを探知でき，速度成分も知り得る事。

図に示す様に，受信機は，サイドバンドースーパーヘテロダイン方式とする。これは，予想されるドップラー周波数範囲が低周波領域で，特にフリッカー雑音の影響が予想されるから，この影響を除去するためである。受信機を出た信号には，障害物の大きさ（振幅）と，その相対速度（ドップラー変位）情報が含まれている。安全性と経済性という２つの理由から，動作（エアーバッグの展開）は激しい衝突の時だけにしか起こらない様にする。すなわち誤報および誤動作があってはならない。このために Band Pass Filter と Amplitude Threshold Discriminator を通し，このレベルを通過した信号が，エアーバッグ展開のためのトリガー信号を作る。また障害物は，２つのアンテナパターンがオーバーラップした領域以内にないときは検知されず，従って送信エネルギーが散乱，反射されて受信アンテナに入るのは，物体が図に示す斜線の内部に入った場合だけである。(但し，図では１組のバイスタティックレーダーによって形成される感知領域についてのみ示してある。)

3. 高感度感知領域の形成について

ここで対象とする自動車用衝突感知レーダーについて，以下に示す設定条件を仮定する。

(1) エアーバッグ動作時間；30 (msec)

(2) 最低相対速度　　；50 (km/h)

(3) 最高相対速度　　；200 (km/h)

(4) 感知領域　　；$1.5^{(W)}_{m}\times 2.0^{(L)}_{m}$，高さは地上より約 65 cm。

(2) の設定根拠は衝突事故による死亡率が相対速度 50 km/h 以上で圧倒的に多いという統計調査による。(3) については，実際問題として，相対速度を 200 km/h まで考えれば充分であり，受信アンプを広帯域化する事による雑音問題を考慮した。(4) については，代表的な乗用車寸法より決めたものであり，車の前方２m までを設定したのは，(1), (3) の条件による。

上述の感知領域を形成するために，２組のバイスタティックレーダーを用いて，それぞれのバイスタティックレーダーによって形成される感知領域を合成して，希望する高感度な感知領域を得る。(Fig. 2 参照)

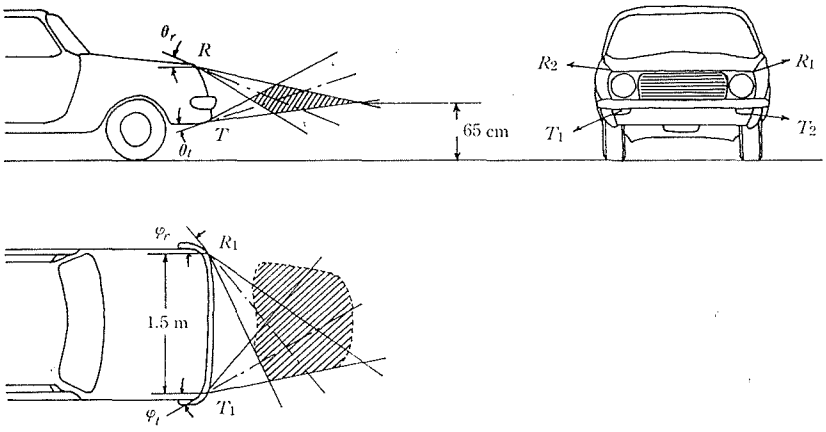


Fig. 2.　ホーンアンテナ設置場所及び感知領域

図において T_1-R_1 が1組であり，T_2-R_2 がもう1組のバイスタティックレーダーである。また，θ_t, θ_r に仰角をもたせるのは以下の理由による。

(1) レダー搭載車間で放射される送信波の影響をお互いに緩和するため。

(2) グランドクラッター，バッククラッターによる受信信号のレベル変動を抑えるため。

4. 実　　験

自動車用衝突感知レーダーを実現化するに際して，その問題点の1つとして，感知領域をいかに設定したらよいか，という事が考えられる。特にバック及びグランドクラッターの影響を緩和するために，ホーンアンテナの設置角度をいかにしたらよいかを知るために，上述方式に基ずいて，種々のパラメーターについて実験した。特にホーンを地面のすぐそばに設置した場合には，理論的に解明する事が難事であり，実験データーの積み重ねによる解明が望ましい[1),2),5),6),7),8)]。

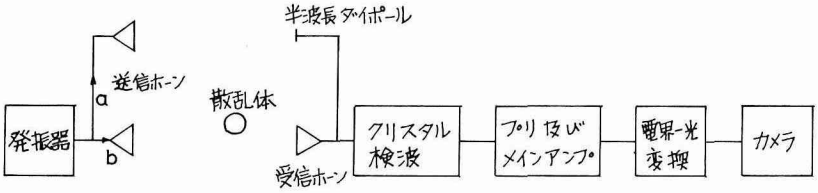


Fig. 3.　測定ブロック図

a) ホーンアンテナの電界強度パターン

b) バイスタティックレーダーの感知領域パターン

4.1 実験方法及び装置

まず送受アンテナとして使用したホーン（開口部；11.0×15.0 cm，のど部；21.0 cm，接続部；1.00×2.25 cm，開き角；15.0°・20.0°）の場所による電界強度パターン測定ブロック図をFig. 3 a に示す。図に示す様に，送信ホーンから発射された電波は，横走査ポール先端に装置された半波長ダイポールで，その電界成分を受ける。この電界をクリスタルで検波し，増幅して，光出力とするわけである。

この光出力を天井に取り付けたカメラにとらえ，放射パターンを得る。発振素子はガンダイオード（発振周波数；10.5 GHz，出力；7 mW），半波長ダイポールは，そのアンテナ部とマッチング素子に改良を加えたものであり，概観をFig. 4 に示す。使用フィルムはASA-100，カメラはバルブ状態で撮影し，シャッター動作はラジコンで遠隔操作した。実験パラメーターはFig. 5 における θ_t, h_t, h_p であり，受信機の方は使っていない。

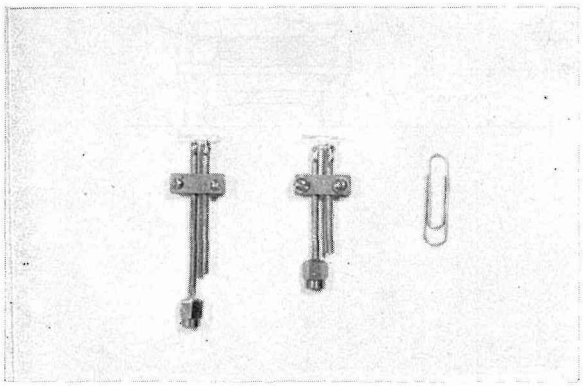


Fig. 4.　半波長ダイポール概観

次にバイスタティックレーダーの感知領域パターン測定ブロック図をFig. 3 b に示す。実験方法は，上述したホーンのパターン測定方法と同様であるが，図に示す様に受信ホーンは円柱散乱体（$10.5^{(\phi)}_{cm}\times28.5^{(h)}_{cm}$）による散乱波を受信する。走査範囲は，$150^{(W)}_{cm}\times200^{(L)}_{cm}$，高さは地上より約45～90 cm であり，測定環境はFig. 5

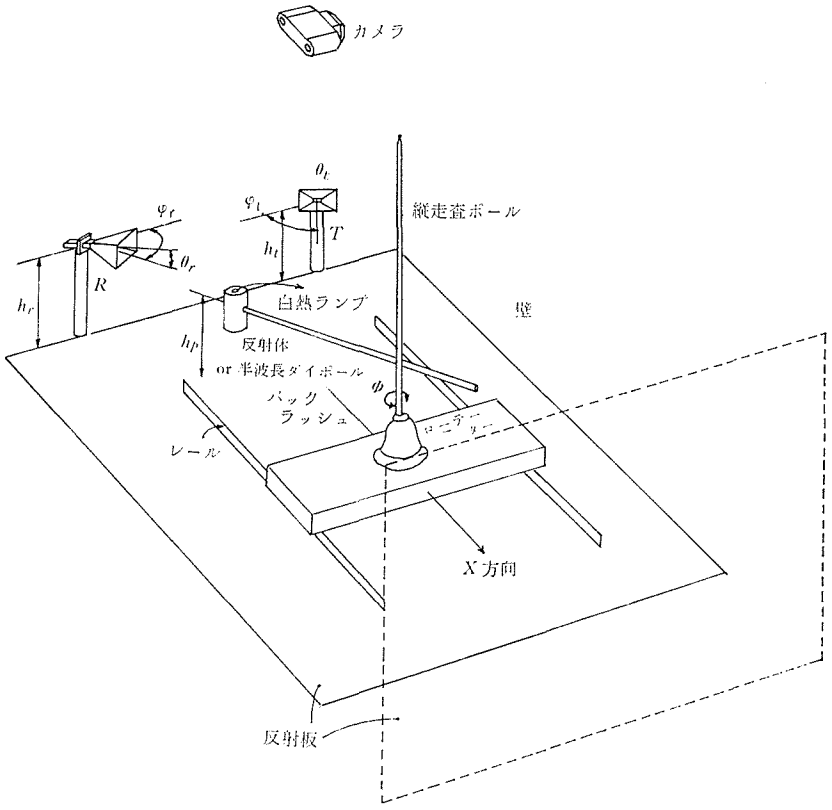


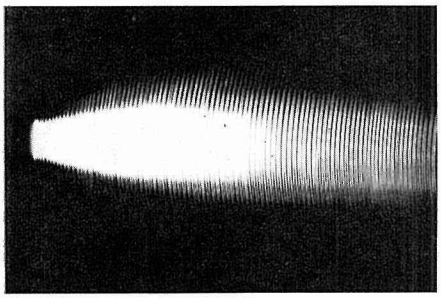
Fig. 5. 測定装置鳥瞰図

に示す様に，側方はホーンから約 1 cm，前方はホーンアンテナから約 4 m のところが壁である。図の走査装置は，走査間隔 5 mm，走査線数 300 本の走査を，全走査時間 40 分で行なう事ができる。また，床及びバックグランドに反射板を置いたのは，実際の道路環境におけるグランドクラッター及びバックグランドクラッターの障害物（たとえば，自動車，人間，建物，標識等）の影響を最悪に設定するためである。実験パラメーターは Fig. 5 における h_t, θ_t, φ_t, h_r, θ_r, φ_r, h_p の合計 7 個である。

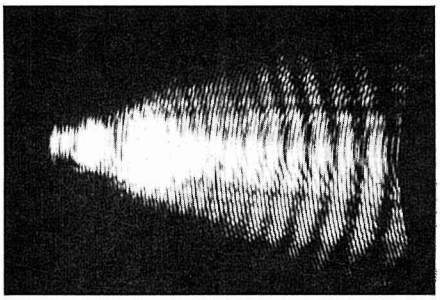
4.2 実験結果及び考察

まず使用ホーンの電界強度パターンの代表的データー 4 個について Fig. 6 に示す。H-面パターンにサイドローブが出ていないのはドミナントモードの場合，理論的には上記寸法では，サイドローブはほとんど出ない[1),2)]。E-面パターンにおけるサイドローブが上下不均一であるのは，接続部でのミスマッチングによるものである。Fig. 6 b において顕著に表われている 2 つの干渉パターンは，一方がグランドクラッターによるものであり，もう一方が縦走査ポールによるものである。パターンの境界領域は最大値に対して約 12 dB 低下したところであり，これ以下の干渉に対しては表現されていない。このホーンの放射パターンは，自動車用衝突感知レーダーをモノスタティックな配置で構成しようとする場合の目安となる。(但し，モノスタティックレーダーの感知領域パターンは，ホーンからの距離を r とすると $1/(2r)^2$ できいてくる。)

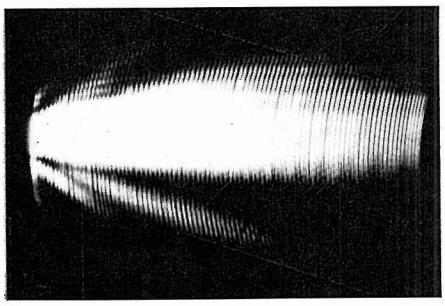
ダイポールアンテナを取りはずして走査した場合の，他の部分（たとえば，同軸表面，コネクター等）から乗る電界の影響，及びダイポールアンテナを電界方向に対して垂直にして走査し



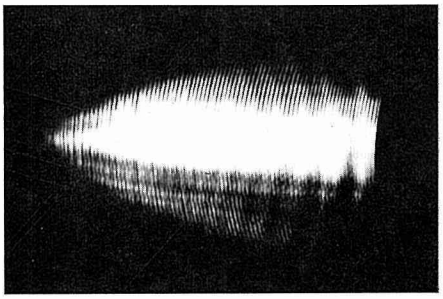
a） H-面, $h_p=70$ cm



b） H-面, $h^p=50$ cm

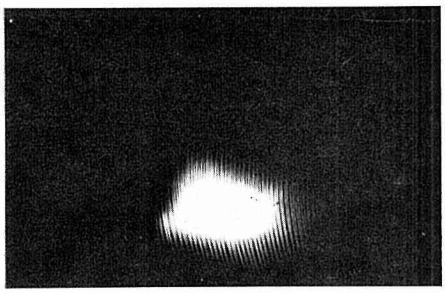


c） E-面, $h_p=70$ cm

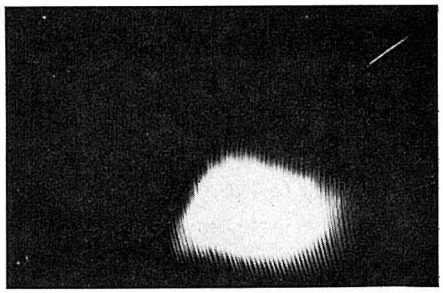


d） E-面, $h_p=50$ cm

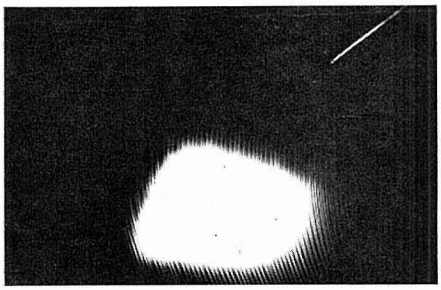
Fig. 6. ホーンアンテナ電界強度パターン ($h_t=70$ cm)



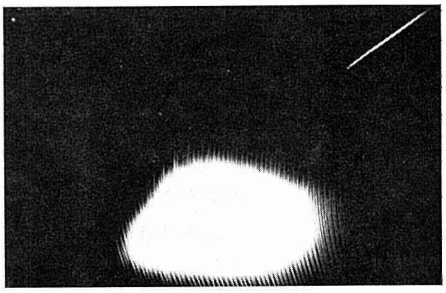
a） $h_p=55$ cm



b） $h_p=60$ cm

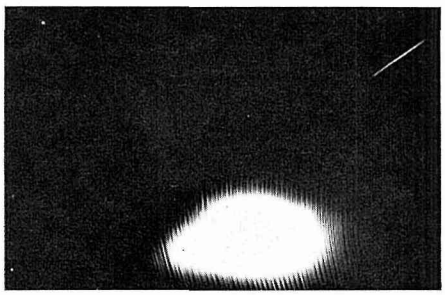


c） $h_p=65$ cm



d） $h_p=70$ cm

Fig. 7. a)～d). バイスタテイックレーダーの感知領域パターン ($\theta_t=+5°$, $\theta_r=-5°$)
$h_t=50$ cm, $h_r=80$ cm, $\varphi_t=50°$, $\varphi=70°$



e) $h_p=75$ cm

Fig. 7. バイスタティックレーダーの感知領域パターン ($\theta_t=+5°$, $\theta_r=-5°$)
$h_t=50$cm, $h_r=80$cm, $\varphi_t=50°$, $\varphi_r=70°$

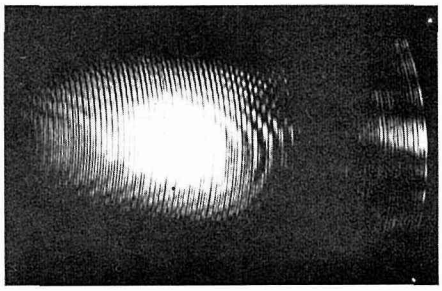


Fig. 8. バイスタティックレーダーの感知領域パターン (θ_t, $\theta_r=\pm 0°$)
h_t, $h_r=65$ cm, $h_p=65$ cm

た場合の影響，についても同時に測定したが，このレベルではフィルム面にはまったく感知されなかった。なお参考のため，このホーンのフラウンホーファー領域を求めてみると，ホーンから55～110 cm より遠方の領域である。(但し，フレネル，フラウンホーファー境界領域として D^2/λ あるいは $2D^2/\lambda$ という概算式による。ここに，D；ホーンの寸法，λ；波長)[3]。

次に，バイスタティックレーダーの感知領域パターンの実験結果について述べる。先の実験[12]においては，自動車前方約1mまでの感知には有効であった。しかし相対速度が120km/h位になった場合には，エアーバッグが動作する以前に，自動車の前部が変形してしまって，動作機構が破壊されてしまうという危険性がある。従って，もう少し前方まで感知領域を拡げる必要がある。また乗用車の場合，アンテナ設置高さには制約がある (Fig. 2 参照)。これらの要求から，送受信アンテナに適当な仰伏角をつける事を考えた。Fig. 7 はその最適設置の場合のデーターである。但し各パターンは1組のバイスタティックレーダーの感知領域についてのみ表現してある。

Fig. 8 は仰伏角をつけない場合で，Fig. 7 d に対応するデーターである。この図に表われている干渉パターンは，反射体までと，縦走査ポールまでの行路差によるものであり，その理論値を Fig. 9 に示す。(但し，この理論値の計算プログラムでは，側方，後方及び床によるクラッターの影響は考慮しなかった)。

写真左方の輝点は，ホーンアンテナの開口部を示す。右上部の輝線はラジコン用アンテナでデーターには関係ない。

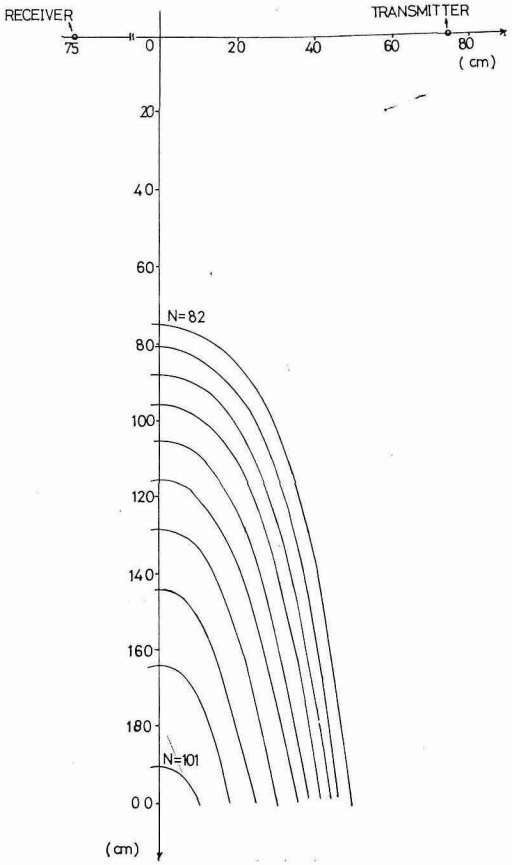


Fig. 9. 縦走査用ポールとの干渉パターン (理論値)

5. 結 言

本文では，初めに述べた様に，なるべく少ない情報でシステムを実現する事を考えた。現在研究中の他のシステムでは，障害物までの距離情報を得る様に設計されているのが主流で，それによって衝突可避ならエアーバッグを展開しない様になっている。しかしながら距離情報を判定条件に加える事に伴って，感知領域を拡げなければならない。その結果ノイズが増加するし，正確な距離情報が検出できなくなる。さらに，感知領域を拡げる事によって，対向レーダー搭載車の送信波を直接受信してしまう危険性がある。この様な方式では，将来的には接近してくるレーダー搭載車の送信周波数を，それがまだ遠くにいるうちにサンプルし，自車の周波数を対向車のそれとは違ったものに変えてしまうアダプティブな方式が考えられる。

本文で考察した方式では，必要とする情報が少ないので，より安価に実現できそうだ。またモノスタティック方式で実現しようとするシステムに比べて，感知領域がはるかに衝突用に適している。

しかしながらフィルターの低域カットオフ特性，障害物の大きさの識別レベルをどのあたりに設定したらよいか，という問題点がある。特に障害物の反射有効面積は，同一障害物でも侵入角度によってかなりの変動がある。誤報，誤動作が許されない訳であるから，スレッショルドレベルの決定が今後の課題である。将来的には，アンテナ数をもっと増やすマルチ方式，車対車の衝突に限定して考えれば，マッチトフィルターの応用等が考えられる。

次に実験成果であるが，フィルムの黒化度のダイナミックレンジがあまり大きくとれない事と線型性が問題であるが，本実験の様な境界領域だけを問題とする場合には，パターン表現法として有効な方法である。従来は，X-Y プロッターによる投影図的表現がよく見られる方法であるが，それだと走査誤差を表現できない。それに対し本装置はこの走査誤差は問題とならない。

また，本文で扱ったセンサーにおいては，送受信ホーンアンテナに適当な仰角（±5°）をつける事によって，従来の方式[12]よりグランドクラッター，バックグランドクラッターの影響をさらに緩和できることがわかった。

謝 辞

種々御討論下さいました東芝電子事業部マイクロ波半導体技術課，赤田邦雄主務に感謝致します。また実験に御協力頂いた土岐君に感謝致します。

参 考 文 献

1) Lous. N. Ridenour: "Radar System Engineering" MIT Radiation Lab. Seriesl BTL Inc. (1947), pp. 63-115.
2) Sanuel Silver: "Microwave Antenna Theory and Design" MIT Radiation Lab. Series 12 BTL Inc. (1947), pp. 349-376.
3) M. I. Skolnik: "Introduction to Radar Systems" Mcgraw Hill (1962), pp. 264-269.
4) 牧野建一："レーダー技術 1, 2" 電子通信学会 (47年).
5) 松尾 優："送受分離レーダー方式による障害物検知" 信学会航行エレクトロニクス研究会資料(40年12月).
6) 松尾 優："Bistatic Radar の探知可能範囲" 信学会誌 (49年4月).
7) 松尾 優："固定指向性アンテナをもつ Bistatic Radar の探知可能範囲" 信学会アンテナ研究会資料.
8) 山根国義他："散乱波利用通信探知系の有効範囲に関する統一的解析" 信学文誌 B 70/10 vol. 53-B No. 10.
9) Tohru Takahashi, etc: "Development of a Radar Sensor for Inflatable Occupant Restraint System" S. A. E. paper, 2nd International Conference on Passive Restraints, Detroit. Michigan, May 22-25, 1972.

10) Tohn. B. Hopkins etc: "A Microwave Anticipatory Crash Sensor for Automobil" S. A. E paper, 2nd International Conference on Passive Restraints, Detroit. Michigan, May 22-25, 1972.

11) Thevoro Jones: "A Critical Review of Radar as a Predictive Crash Sensor" S. A. E paper 2nd International Conference on Passive Restraints, Detroit. Michigan, May 22-25, 1972.

12) 本田・伊藤・松本: "Auto-Radar Sensor の Ground Clutter の影響に関する定性的実験" 電気四学会 (48年).