

距離や速度を測れる 76 GHz 帯自動車レーダのしくみ

ミリ波帯レーダ・システムのデバイスと回路技術

吉田 孝/渡邊 健一
Takashi Yoshida/Kenichi Watanabe

近年、レーダを搭載した自動車が徐々に増加しています。テレビのコマーシャルで目にした方も多くはないでしょうか。航空機、船舶にはあたりまえのレーダが、ついに自動車にも搭載される時代の到来です。

エア・バッグに代表される自動車における安全装置は、事故が起きた際の怪我を軽減するものですが、自動車レーダは事故を未然に防ぐ夢のような装置です。車間距離や先行車との相対速度などを車自身が高精度に把握し、自立的に危険を回避しながら走行することも夢ではなくなってきています。車はより安全な乗り物に進化しています。

レーダを搭載した車はこれまでもありましたが、価格が高すぎました。消費者の安全に対する潜在ニーズは高くても、高価で財布の紐はなかなか緩みませんでした。しかし、最近は機能が向上し信頼感も増し、低価格化も進んでいます。エア・バッグやABS (Antiskid Brake System)と同じように、自動車メーカーが積極的にレーダを搭載すれば、量産効果によって低価格化は急激に進みます。エア・バッグ、ABSはこうして普及し、現在ではほぼ全車標準装備品になるほどの低価格が実現されています。

自動車レーダ市場が大きく成長し、全車標準装備になるためには、クリアしなければならない課題はまだ沢山あります。この課題に向けて、エレクトロニクス・メーカーは激しい開発競争を繰り広げています。

自動車レーダの構成と各種の方式

■ レーダのシステム構成

レーダ(RADAR)は“Radio Detection and Ranging”の頭文字を取ったものです。レーダは電波を目標物に向けて照射して、その目標からの反射波と伝搬時間から目標の存在とその距離および相対速度を知る無線装置です。

目標までの距離は、電波が放射されてから反射波を受信するまでの時間(伝搬時間)などから算出されま

す。目標までの距離 R は、その伝搬時間 t を使って次式のように求められます。

$$R = \frac{ct}{2} \dots\dots\dots (1)$$

c : 光の速さ (3×10^8 m/s)

目標物の方位は、アンテナから放射する送信波の方向から求めることができます。このためレーダでは、パラボラ・アンテナのような高い指向性をもつアンテナが必要になります。

目標物の相対速度は、主にドップラー効果を利用して算出します。ドップラー効果は救急車のサイレンでお馴染みですが、接近する物体から放射される波は元の波長よりも短く観測され、遠ざかる物体からの波は長く観測されるものです。野球で使われているスピード・ガンも、このドップラー効果を利用したレーダの一種と考えられます。このように、照射した送信波の周波数と、目標物から反射した受信波の周波数がわかれば、相対速度を算出することができます。

レーダのシステム構成を図1に示します。レーダは、基本的には送信機、受信機、アンテナ、表示器の四つのシステムから構成されます。さらに現代のレーダでは、図に示すように信号処理機が加わるのが一般的です。特に、陸上で使用されるレーダは、検出したくない物体からの不要な反射の影響を受けるために、これを抑制して目標識別能力を高める信号処理機能は必要不可欠なものです。

■ レーダの性能 (1)

レーダの性能は主に、最大探知距離、最小探知距離、距離分解能および方位分解能の四つによって決まりま

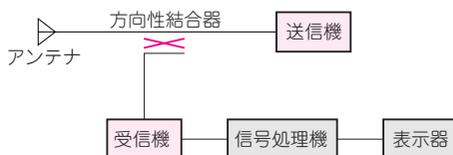


図1 レーダのシステム構成

ミリ波とは

自動車レーダは高度道路交通システム (ITS ; Intelligent Transport Systems) のなかの重要な技術の一つです。自動車レーダには、ミリ波と呼ばれる周波数の電波(電磁波)が使用されています。

ミリ波とは、その名のとおりミリ単位の波長、つまり教科書的な分類では **1~10 mm の波長をもつ電磁波** をいいます。周波数でいうと 30 G~300 GHz です。これはマイクロ波よりさらに高い周波数帯(あるいは短い波長)にあたります。ミリ波よりマイクロ波のほうが波長が長いというのはおかしな話ですが歴史的事情により、こういう名称区分になっています。

ミリ波には以下に述べるように、さまざまな長所があります。

第一に、大気による減衰が大きく、**電波の到達距離が短い** ことです。これは、かつては短所と考えられていましたが、近距離で使用する場合は逆に長所となります。少し離れていれば同じ周波数を何度も利用することができるからです。この特長は無線 LAN や近距離レーダにはうってつけです。

ミリ波の第二の特長は、**波長が短い** ことです。電磁波はマイクロ波以上になると、分布定数回路として扱わなければなりません。このことは、回路の大きさが波長によって律則されてしまうことを意味します。特にアンテナはこの傾向が顕著です。波長が

短いミリ波を使用することで、回路の小型化が可能になります。

第三の特長は**帯域が広い** ことです。送信可能な情報量は帯域に比例するので、これを利用すると大容量の情報通信が可能になります。

これらの長所にも関わらず、ミリ波は、民生用としては現在にいたるまでほとんど実用化されていません。周波数帯の開発はマイクロ波までで停滞し、その後はいきなり光へと跳んでしまいました。ミリ波の開発が停滞した理由は、いろいろ考えられますが、この周波数帯できちんと動作する安価なデバイスがなかったこと、まえに述べたように、電波の到達距離が短いことなどがあげられます。ミリ波は長年、技術開発のエア・ポケットとして取り残されてきました。

しかし近年、携帯電話の普及や衛星放送の拡大など電波の利用が急速に進み、周波数帯の枯渇が心配されるようになりました。新たな周波数帯を開発する必要性が叫ばれるとともにミリ波も再び注目されるようになりました。また、技術開発のネックになっていたデバイスも性能が向上し、100 GHz 程度のものなら実現可能になりました。それに行政による環境の整備も進み、技術開発にますます拍車がかかるようになりました。現在は実用化の一手前というところまできています。

す。それぞれの性能について以下に説明します。

● 最大探知距離

目標とレーダが図2に示す関係にあるとき、レーダの受信電力 P_r は次式で表すことができます。

$$P_r = \frac{P_t G(\theta)^2 \lambda^2 \sigma(\phi)}{(4\pi)^3 R^4} \dots\dots\dots (2)$$

P_t : 送信波電力 [W]

λ : 送信波の波長 [m]

θ : アンテナ中心から目標までの方位角 [rad]

$G(\theta)$: θ 方向のアンテナ利得 [倍]

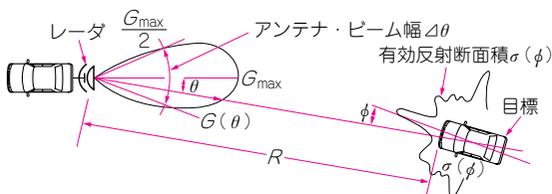


図2 レーダと目標との関係

ϕ : 目標とレーダを結ぶ線と目標の中心線がなす角度 [rad]

$\sigma(\phi)$: ϕ 方向の目標の有効反射断面面積 [m²]

R : レーダと目標との距離 [m]

この式(2)を**レーダ方程式**と言います。

受信波の電力 P_r は、目標までの距離 R の4乗に比例して減衰し、距離が遠い場合には受信できなくなります。この限界を**最大探知距離** R_{max} と呼び、受信機の検出可能最小電力を P_{rmin} とすると、レーダ方程式により次のように求められます。

$$R_{max} = \left\{ \frac{G(\theta)^2 \lambda^2 \sigma(\phi) P_t}{(4\pi)^3 P_{rmin}} \right\}^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots (3)$$

次に、アンテナ利得とビーム幅について説明します。

アンテナ・ビーム幅は図2のアンテナ利得 $G(\theta)$ において、最大利得の半分になる広がり角度 $\Delta\theta$ で示され、アンテナ開口長 D 、波長 λ で決まり、次の式で表すことができます。

$$\Delta\theta \approx 70 \times \frac{\lambda}{D} \dots\dots\dots (4)$$