

マイクロ波・ミリ波を使用したレーダ (アプリケーションへの展開)

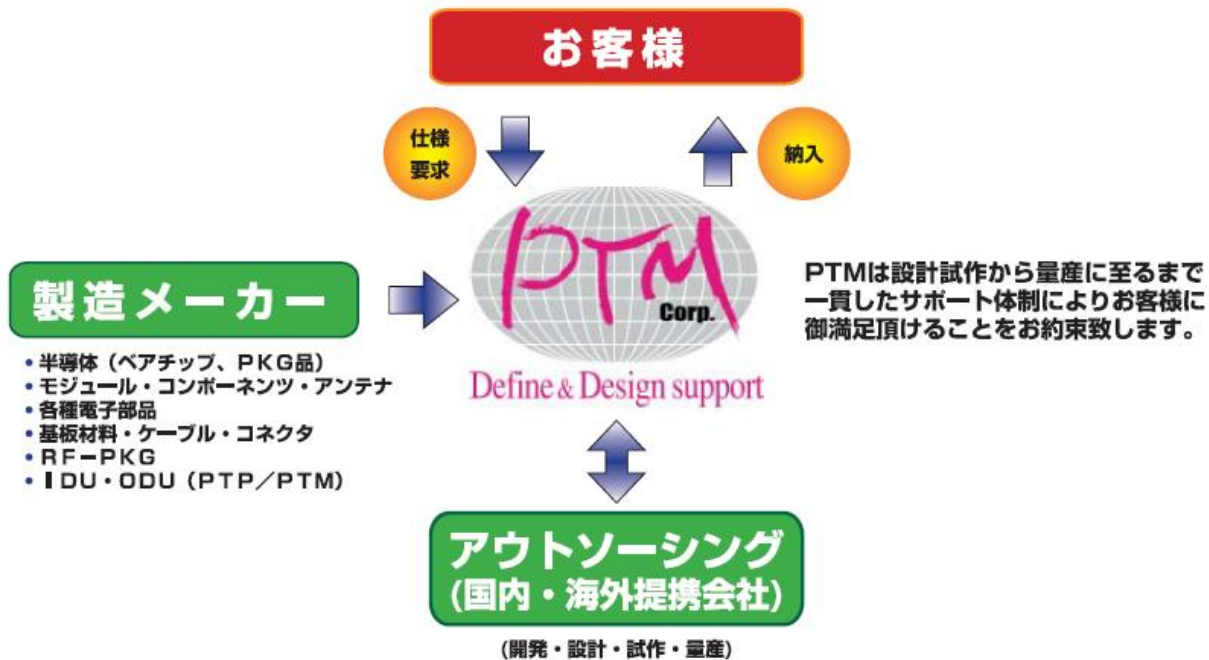
ピーティーエム株式会社 営業部

**解説： 技術顧問 博士(工学)上保徹志
(近畿大学 生物理工学部)**

- ・ 会社概要及びサービスのご案内
- ・ マイクロ波センサー
アプリケーションごとの合理的なアプローチの切り分け
検討要素
ドップラーセンサー
測距が可能なレーダー
- ・ 0mからの測距を可能にする定在波レーダー
原理および方式の解説
微小変位計測
測定事例
- ・ 製品開発ロードマップ、事業展開について
- ・ 評価キットによるレーダーの実演

会社概要及びサービスのご案内

社名	ピーティーエム株式会社
所在地	〒226-0011 神奈川県横浜市緑区中山町306番地-15 パームビュービル3階
電話番号	(045) 938-6322
FAX	(045) 938-6323
URL	http://www.ptm-co.jp
設立	平成13年 6月 27日
代表取締役社長	山本 博章



センサー各種の特徴について

超音波センサー



車両有無検知(駐停車)
 バックセンサ・水位測定
 自動車内侵入監視

小形軽量品) 0.1 ~ 3 m
 ホーン据付) ~10 m

騒音で誤動作の例
 防水気密化で感度低下
 センサー素子単価が安い

赤外線センサー



自動ドア開閉
 照明の自動点灯消灯
 自販機ATM等の自動待機

微動型) ~ 2 m
 標準型) ~ 5 m
 最大型) ~10 m

防寒服等には反応低下
 環境に左右される。(霧、粉塵に弱い)
 センサー素子単価が安い

マイクロ波センサー



CW : 自動ドア開閉、速度測定
 FM変調 : セキュリティ用途
 各種レベル計

ショートレンジ: 0~10m
 ミドルレンジ: 0~20m
 ロングレンジ: ~ 200mなど

用途に適した設計を要する
 電波法の適用を受ける。
 環境に強く、メンテフリー

カメラ・画像系センサー

マイク・音声系センサー

その他

マイクロ波センサーの検討要素

◆ RF部設計要素の検討

$$P_r/P_t = \frac{g_1 g_2 \lambda^2 S}{(4\pi)^3 D^4}$$

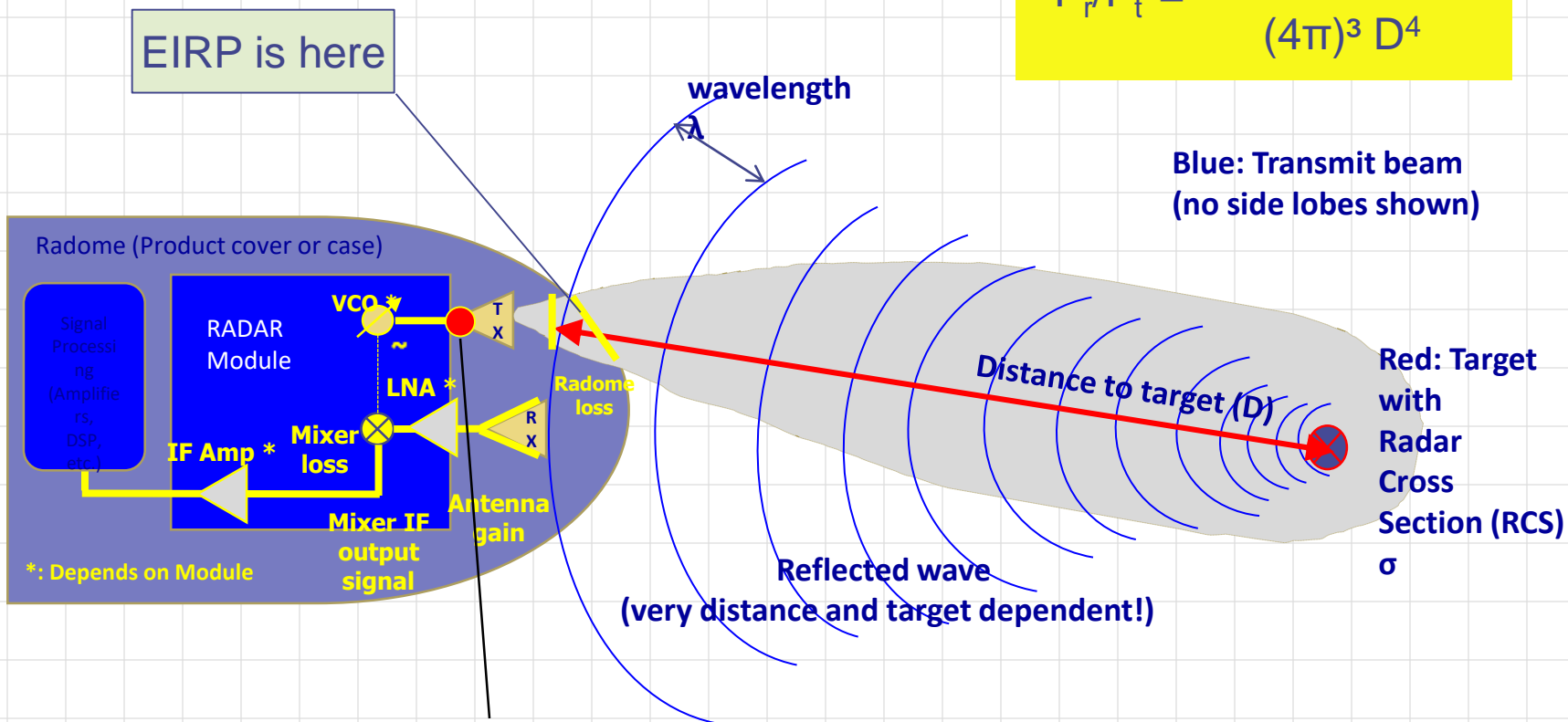
$g_{1/2}$	空中線利得 TX /RX antenna gain
λ	波長(24GHzの場合は 12mm)
S	有効反射断面積 (RCS)
D	目標までの距離

24GHzにおける目標(Target)のレーダー反射断面積(RCS)の目安

a human being	abt.	0.5 m ²
a Coke can		0.5 m ²
an automobile depending on angle of arrival		1 – 5 m ²
a metal sheet of 1m ²		a few 100 m ²

マイクロ波センサーの検討要素

◆ RF部設計要素の検討



$$P_r/P_t = \frac{g_1 g_2 \lambda^2 S}{(4\pi)^3 D^4}$$

Pt : 日本の電波法による出力規定ポイント

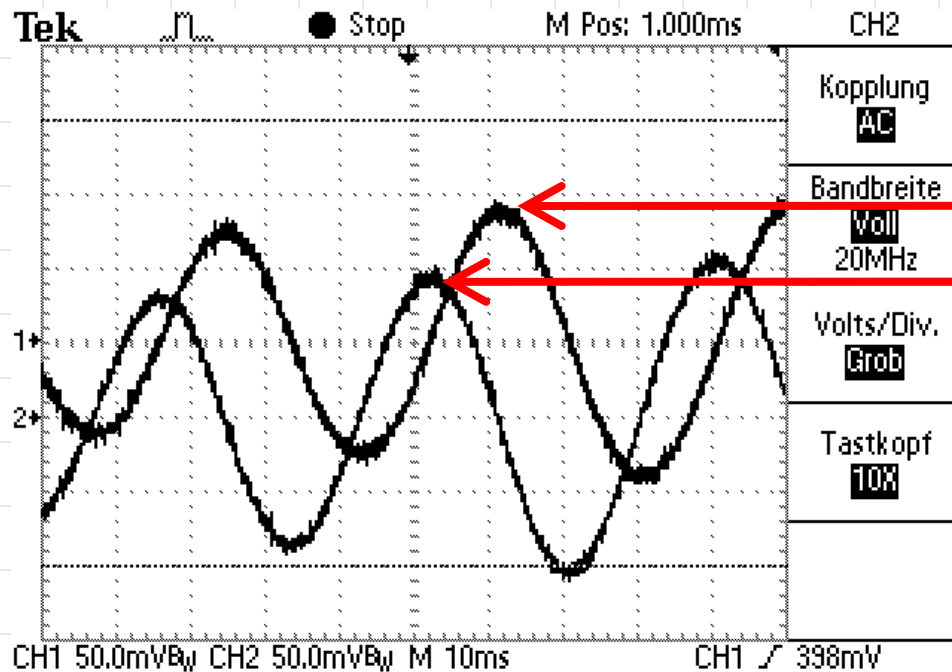
Pt = 10dBm (10mW)

Gt = 24dBi max

ドップラーセンサー モノラル

いわゆる「揺らぎ」を検知する動体検知センサー(動体の有無を検知する)

また、ドップラービートノートから動体の速度を計算するレーダーなどがございます。一般に距離の測定は出来ません。(距離情報と因果関係にある情報を信号的に取り出す事は出来ません)



$$f_{Dopp} = 2f_0 \cdot \frac{v}{c_0} \cdot \cos \alpha$$

目標物の速度は
ドップラー周波数に
相関関係があります。

Where:

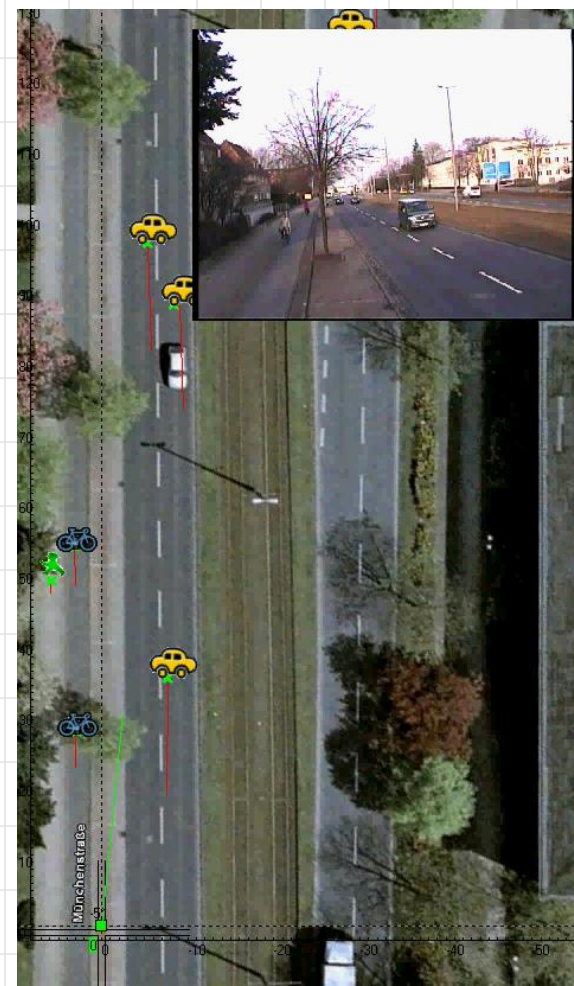
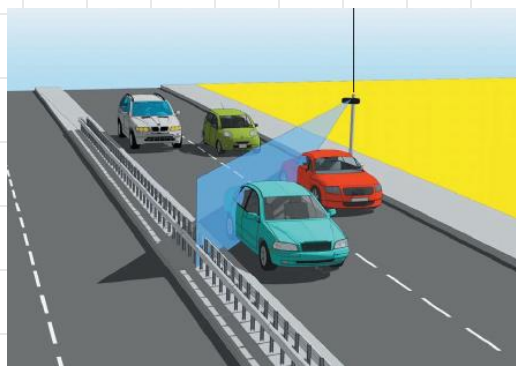
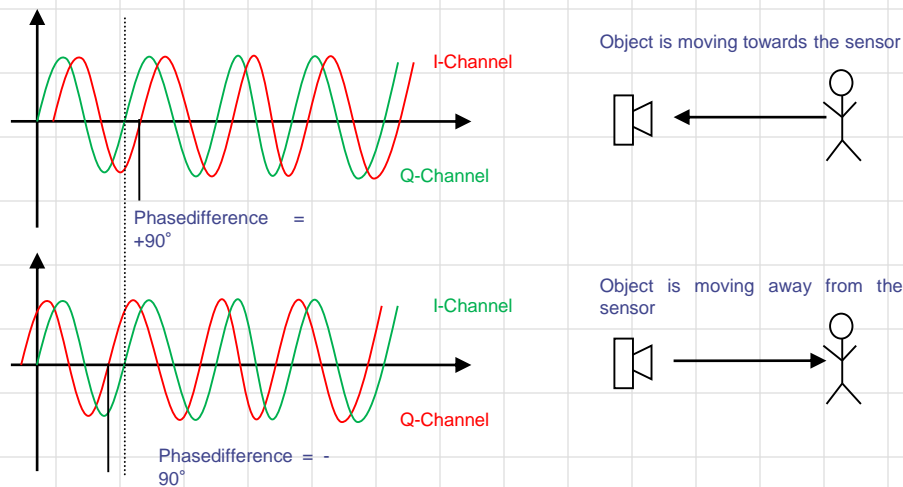
f_0 = TX output frequency
 v = Velocity of moving object

c_0 = speed of light
 $\cos \alpha$ = angle of radar to motion axis.
„1“ if object approaches radar frontally on same axis.

ドップラーセンサー ステレオ(I/Q)

I/Q 2チャンネルのIF出力を取り出し、方向性を検知します。

原理的に技術難易度はありませんが、角度補正や位相情報の取り扱いなど、静止物の検知を必要としない用途にてハイレベルな製品市場もございます。交通取締用の速度検知では高い測定精度を要求されます



ドップラーセンサー 機能とコスト

1-a モノラルの場合 (I CHのみ)		
機能	可否	備考
動体検知	○	動体有無
速度検出	○	
内外判定	×	方向性
距離測定	×	
静止物検知	×	
アナログ部、デジタル部総じて安価 概算：RF+DSP で@1500		

1-b ステレオの場合 (I/Q MIXあり)		
機能	可否	備考
動体検知	○	動体有無
速度検出	○	
内外判定	○	方向性
距離測定	×	
静止物検知	×	
アナログ部、デジタル部総じて安価 モノラルよりは高価になります。		

24GHz帯のマイクロ波を使用する事により、赤外線センサー単独の製品に比べ下記の様なメリットが見込めます。

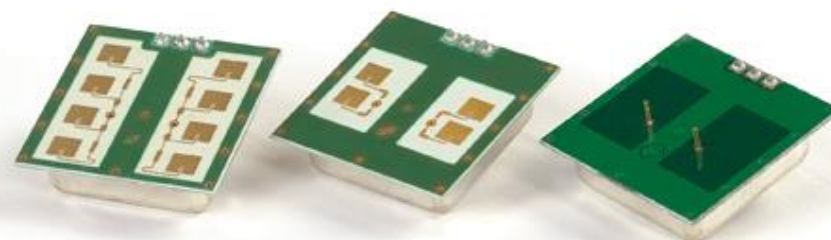
雪や虫などによる誤検知が少ない。

マンション入口での新聞などのいたずら防止

黒い服や、低温環境でも良好な感度が得られます。

スーパーのカートなど人体以外の対象物も確実に検知。

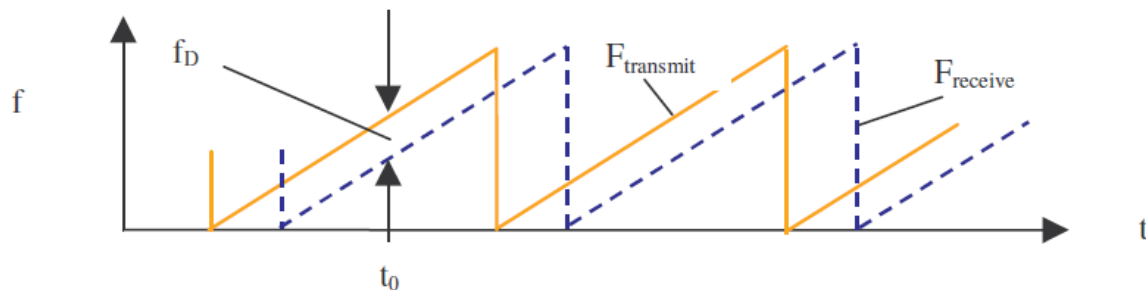
方向判別機能に対応した製品では不要な開閉が削減でき、省エネ効果が期待できます。
エリアや感度の調節がリモコンや各機器ごとに調整、設定可能です。



測距が可能なレーダー

極端にわかりやすく表現するなら「動かない相手(静止物)を見るために自分が動く」方式です。光学式や画像式(ステレオカメラ)のように物理的に「動く」のではなく電氣的に周波数をスイープします。周波数スイープのためVCOを使用致します。

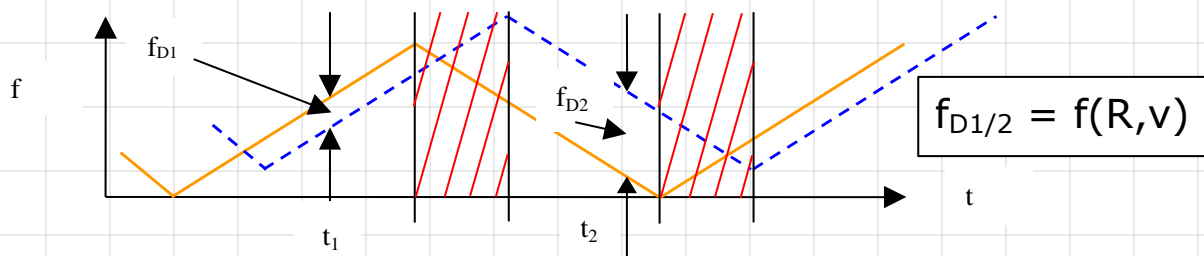
FMCW



$$R = \frac{c_0}{2} \cdot T \cdot \frac{f_D}{\Delta f}$$

T = スイープ速度[s]

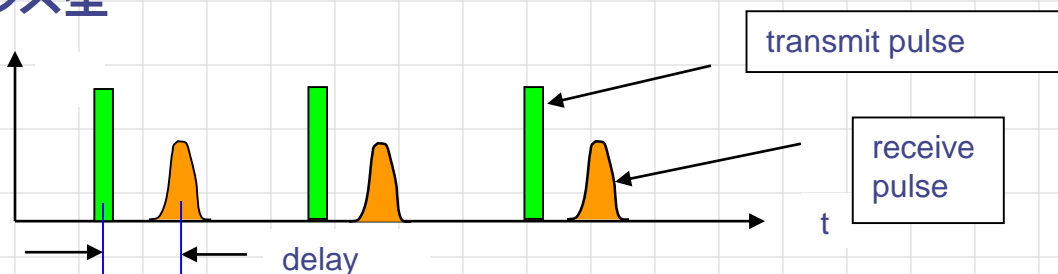
FSK



$$v = \frac{c_0 \cdot (f_{Diff_up} + f_{Diff_down})}{4 \cdot f_0}$$

$$R = \frac{(|f_{Diff_up} - f_{Diff_down}| \cdot c_0 \cdot T)}{(4 \cdot \Delta f)}$$

パルス型



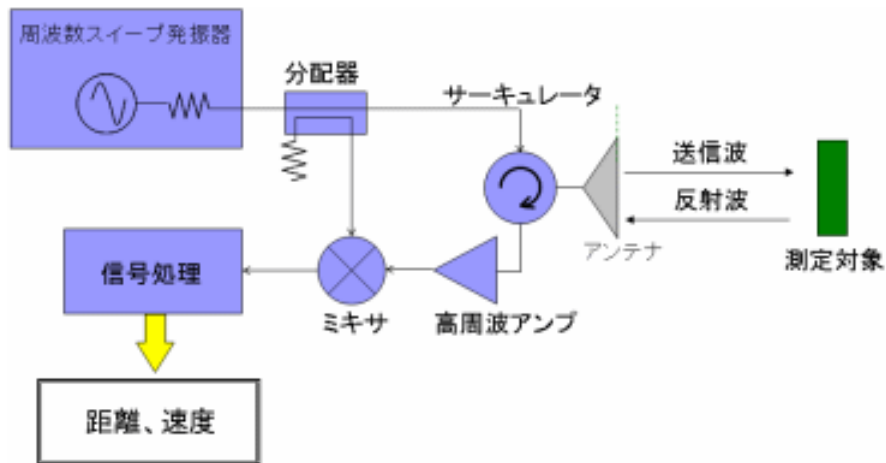
※ パルス型の問題点

使用可能な法規検討

信号処理の複雑さが問題

測距が可能なレーダー(FMCW)

FMCW方式(ステレオ)		
機能	可否	備考
動体検知	○	動体有無
速度検出	○	
内外判定	○	方向性
距離測定	○	
静止物検知	○	
至近距離検知	×	
アナログ部はInnoSenT製品を使用すれば安価(@1500) 信号処理は開発が必要です。		



※ 従来型FMCWの問題点

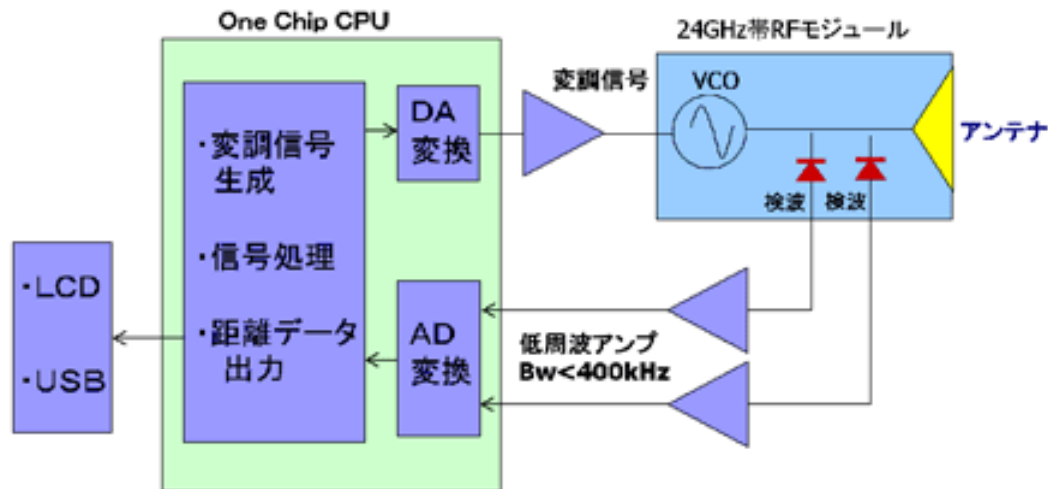
送受信信号の分離にデバイスの性能が重要(コスト高)

D/A Conv の分解能が測定精度にインパクト

不感地帯、至近距離精度に難点

0mからの測距が可能なレーダー(定在波レーダー)

定在波レーダー(ステレオ又はモノラル)		
機能	可否	備考
動体検知	○	動体有無
速度検出	○	
内外判定	○	方向性
距離測定	○	
静止物検知	○	
至近距離検知	○	
アナログ部はInnoSenT製品を使用すれば 安価(@1500) 評価キット供給中(カスタマイズ可)		



※ 従来型FMCWの問題点

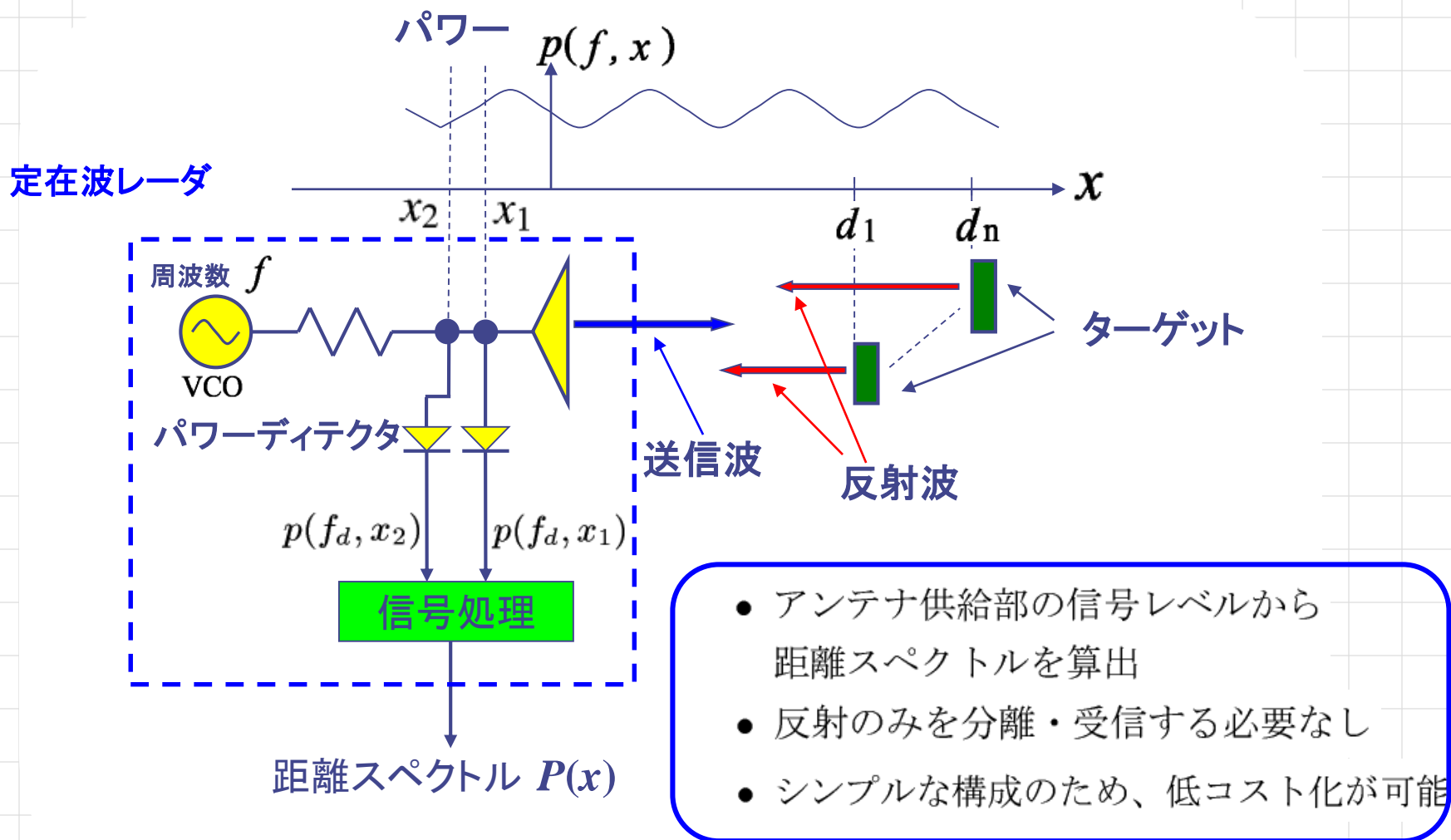
送受信信号の分離にデバイスの性能が重要(コスト高)

D/A Conv の分解能が測定精度にインパクト

不感地帯、至近距離精度に難点

新型定在波レーダの特徴

- ◆ 非常にシンプルな構成 ⇒ 低コスト化
 - ◆ 0mまでターゲット検知
 - ◆ 相対変位の計測分解能が高い ⇒ $10\mu\text{m}$
 - ◆ 複数の移動物体の測距・測速
-
- 周波数を連続的に変化させる
 - 周波数の異なる波が干渉
 - 厳密な意味では定在波は立たない
- ⇒ **FMCW方式的**
-
- 送信波と反射波を分離しない
- ⇒ **従来型定在波レーダ的**

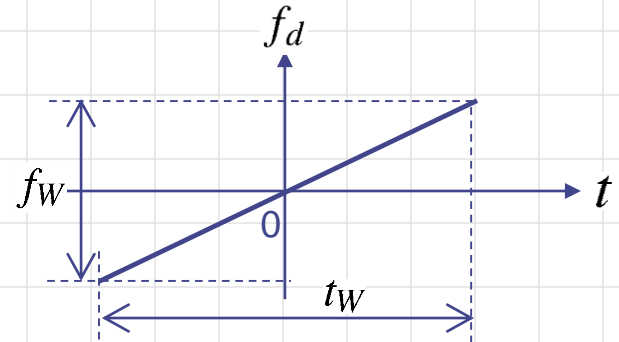


◆ **送信波** $V_T = A e^{j2\pi \int f(t - \frac{x}{c}) dt}$ (1)

A : 信号源の振幅

c : 光速

f : 周波数 $\Rightarrow \begin{cases} f(t) = f_0 + f_d \\ f_d = \frac{f_W}{t_W} t \end{cases}$



◆ **反射波** $V_{Rk} = A \gamma_k e^{j\phi_k} e^{j2\pi \int f(t - \frac{2d-x}{c}) dt}$ (2)

γ_k : 反射係数の大きさ

ϕ_k : 反射係数の位相

◆ **合成波のパワー**

$$p(f_d, x) = \left| V_T + \sum_{k=1}^n V_{Rk} \right|^2 \quad \text{..... (3)}$$

送信波と反射波の合成

◆ $x = x_s$ で観測される合成波のパワー

$\gamma_k \ll 1$ のとき

$$p(f_d, x_s) \approx$$

$$A^2 \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 + 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi f_d}{c} (d_k - x_s) + \frac{4\pi f_0}{c} (d_k - x_s) - \phi_k \right) \right\} \dots (4)$$

送信波のパワー

全反射波のパワー

干渉によるパワーの変化分

各ディテクタの出力信号

◆ $x_1 = 0$ の位置に置かれたディテクタの出力

$$p(f_d, 0) = A^2 \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 + 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k \right) \right\}$$

◆ $x_2 = -\frac{\lambda}{8}$ (ただし、 $\lambda = \frac{c}{f_0}$) の位置に置かれたディテクタの出力

$$p(f_d, -\frac{\lambda}{8}) = A^2 \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 - 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k \right) \right\}$$

◆ f_d で微分

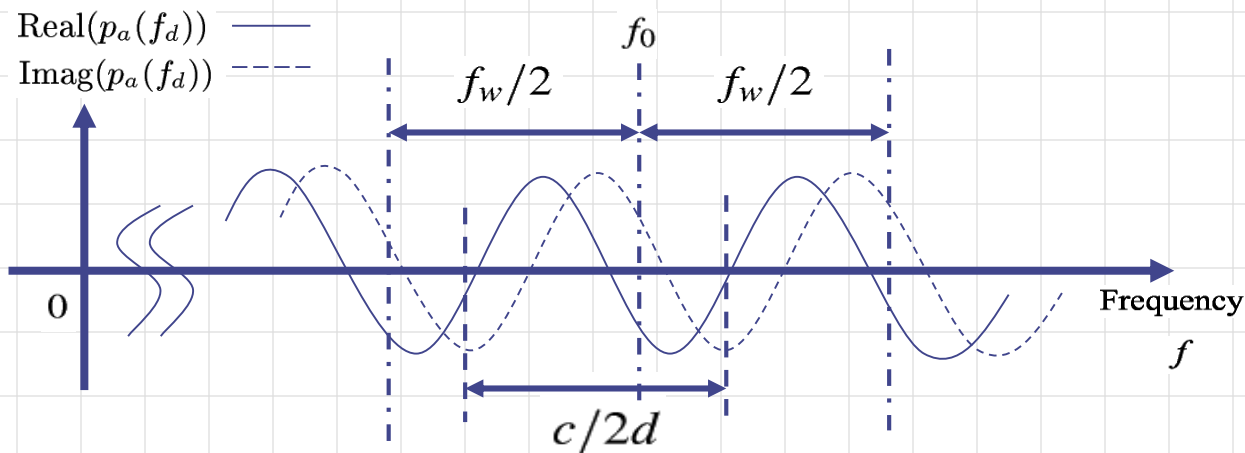
$$- p_{diff}(f_d, 0) = 2A^2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \frac{4\pi d_k}{c} \sin\left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k\right)$$

$$- p_{diff}\left(f_d, -\frac{\lambda}{8}\right) = 2A^2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \frac{4\pi d_k}{c} \cos\left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k\right)$$

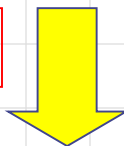
◆ 解析信号

$$\begin{aligned} p_a(f_d) &= - p_{diff}\left(f_d, -\frac{\lambda}{8}\right) - j p_{diff}(f_d, 0) \\ &= 2A^2 \left\{ \sum_{k=1}^n \gamma_k \frac{4\pi d_k}{c} e^{j\left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k\right)} \right\} \end{aligned}$$

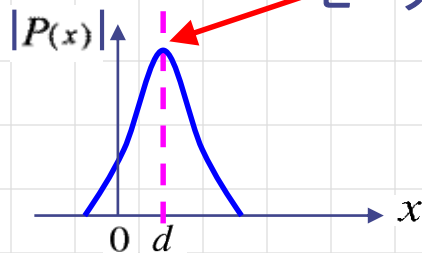
解析信号と距離スペクトル



フーリエ変換



距離スペクトル

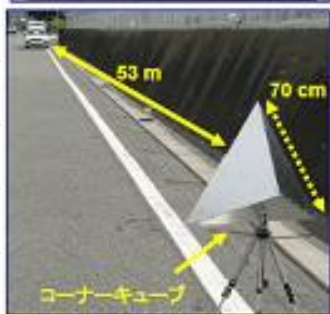


ピーク位置=ターゲットの距離

$$P(x) = \int_{-f_w/2}^{+f_w/2} p_a(f_d) e^{-j \frac{4\pi x f_d}{c}} df_d = 2A^2 f_w \sum_{k=1}^n \gamma_k \frac{4\pi d_k}{c} e^{-j\phi_k} e^{j \frac{4\pi f_0}{c} d_k} Sa\left(\frac{2\pi f_w}{c}(x - d_k)\right) \quad \text{ただし、} Sa(z) = \frac{\sin(z)}{z}$$

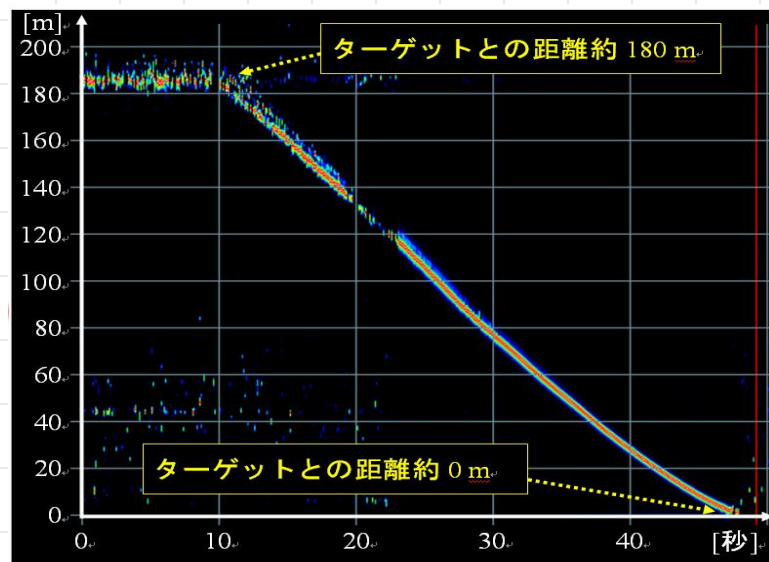
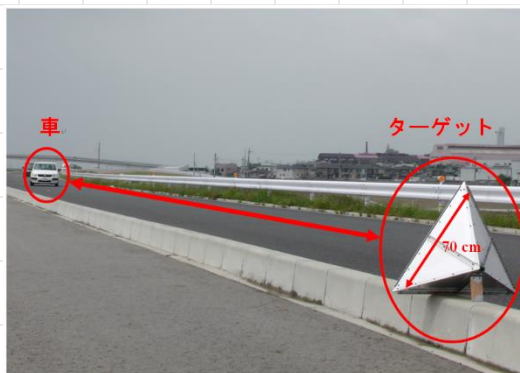
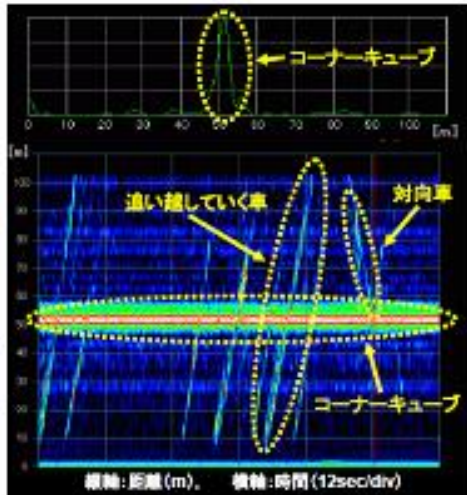
距離測定例

■ 衝突防止用車載レーダとしての使用を想定した実験



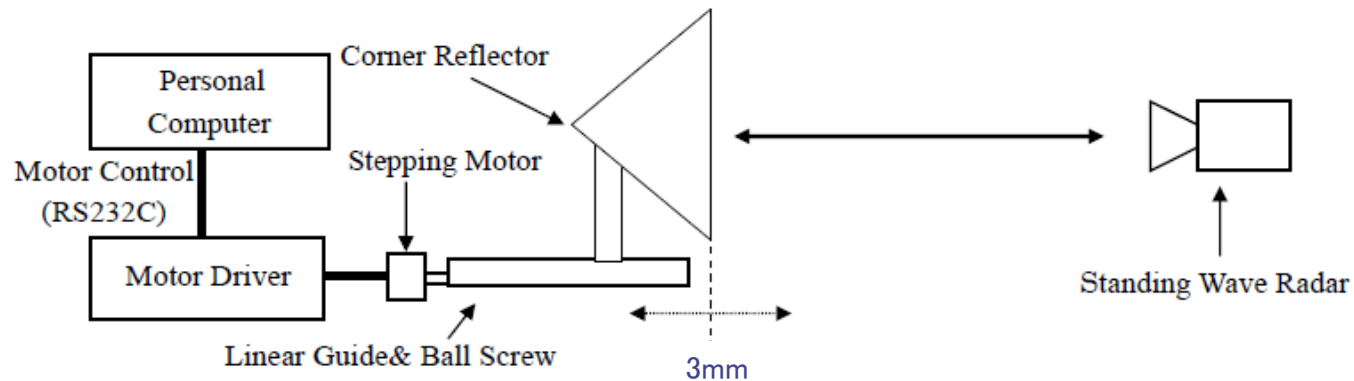
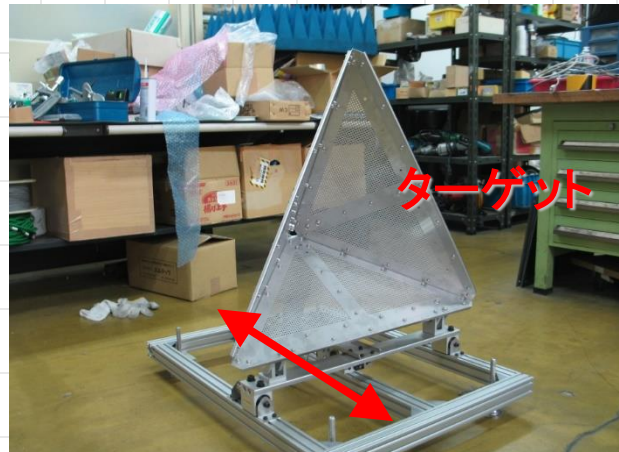
測定結果

高速に移動する複数のターゲットの距離を計測



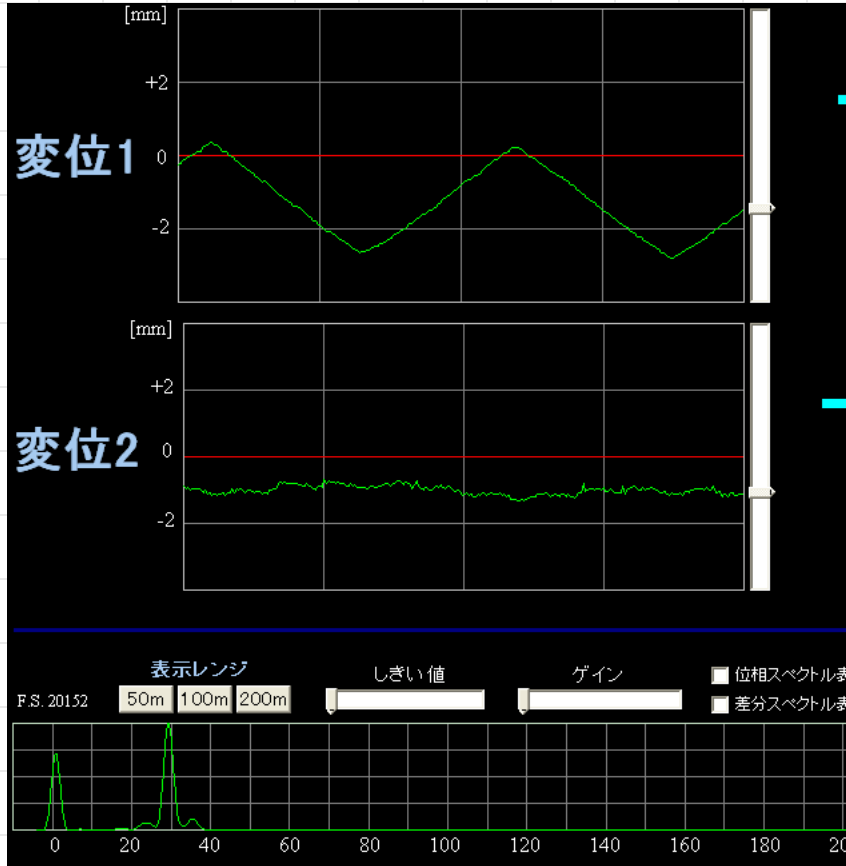
微小変位の計測

- ◆ レーダから30m, 100m, 200mの位置にターゲットを設置
- ◆ 各位置において, ターゲットを3mmの幅で往復させる.



実験セットアップ

レーダ~ターゲット間 30m

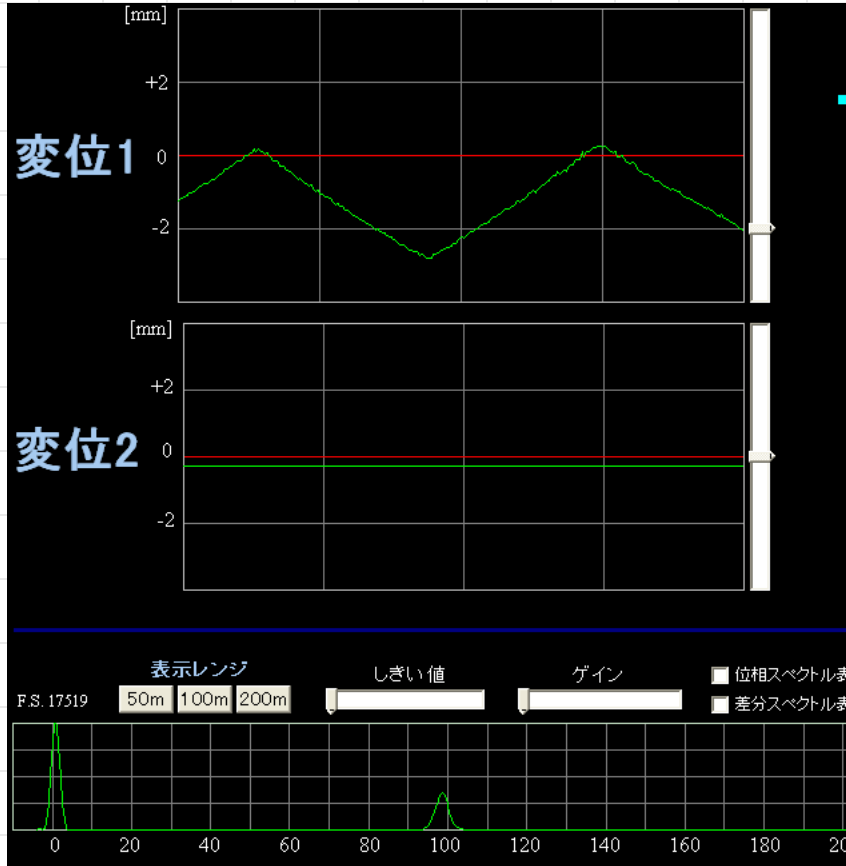


-1.51 mm

29.26 m



レーダ~ターゲット間 100m

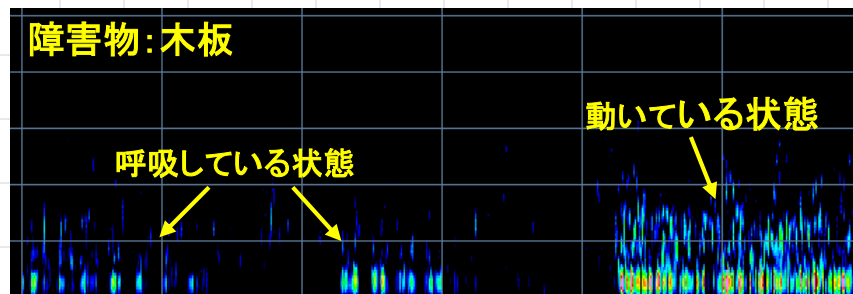
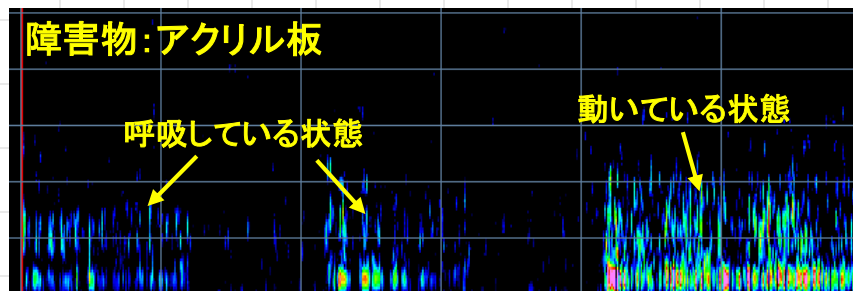
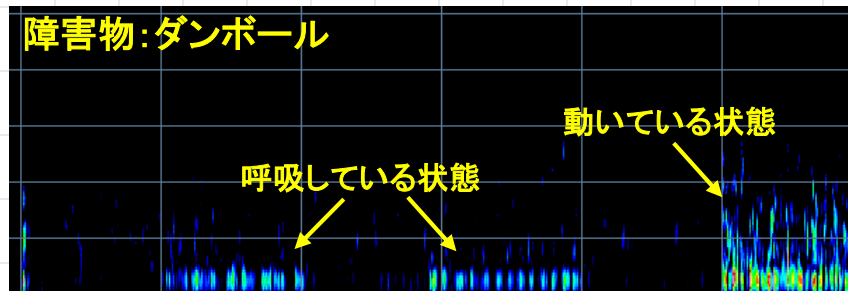
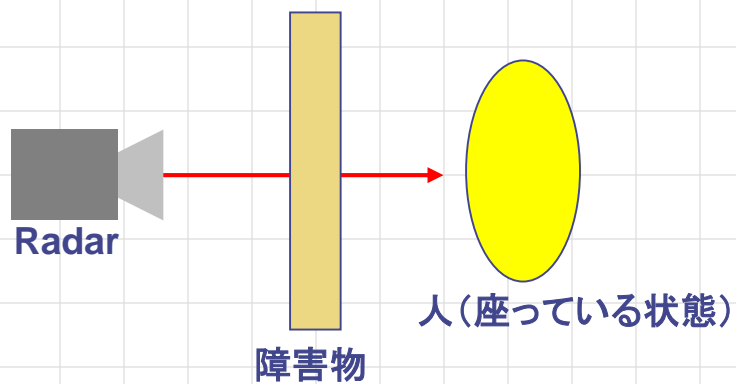


-2.07 mm

98.60 m

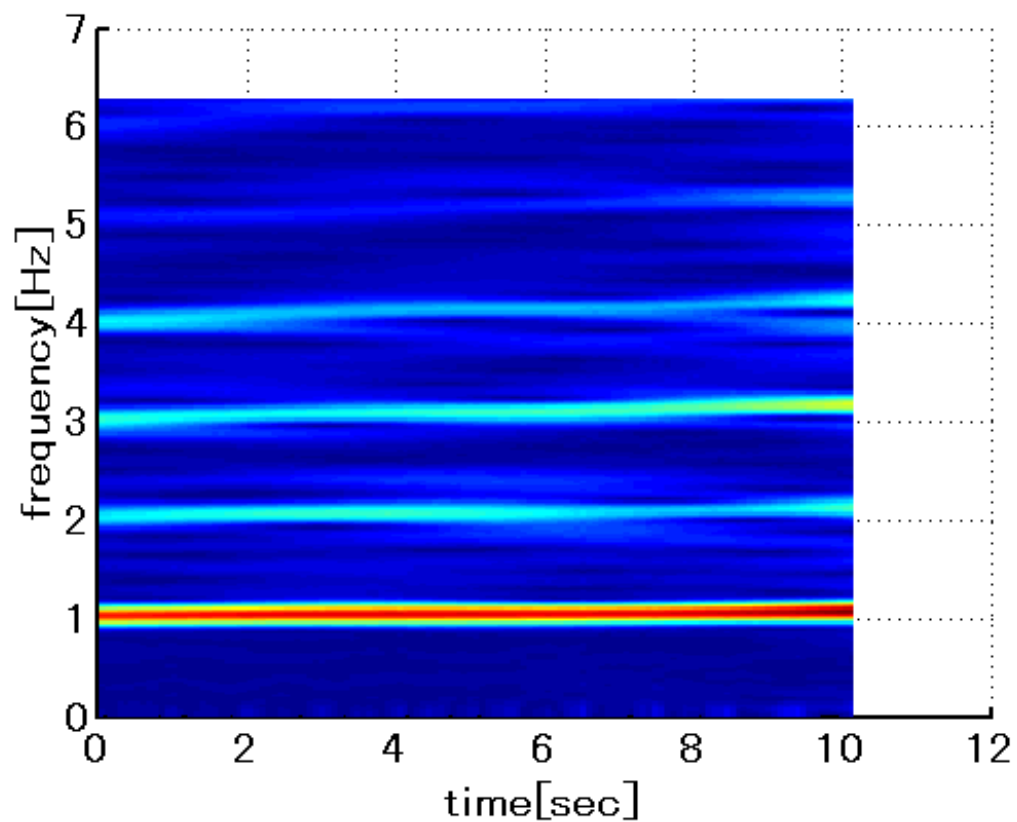
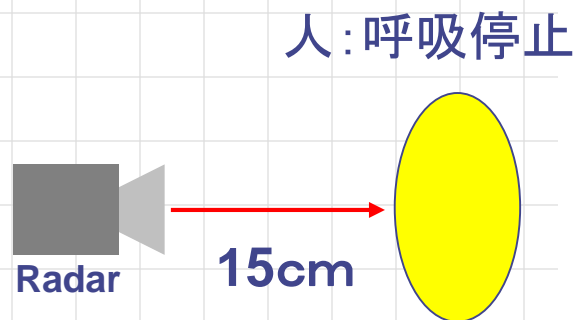


呼吸の検知



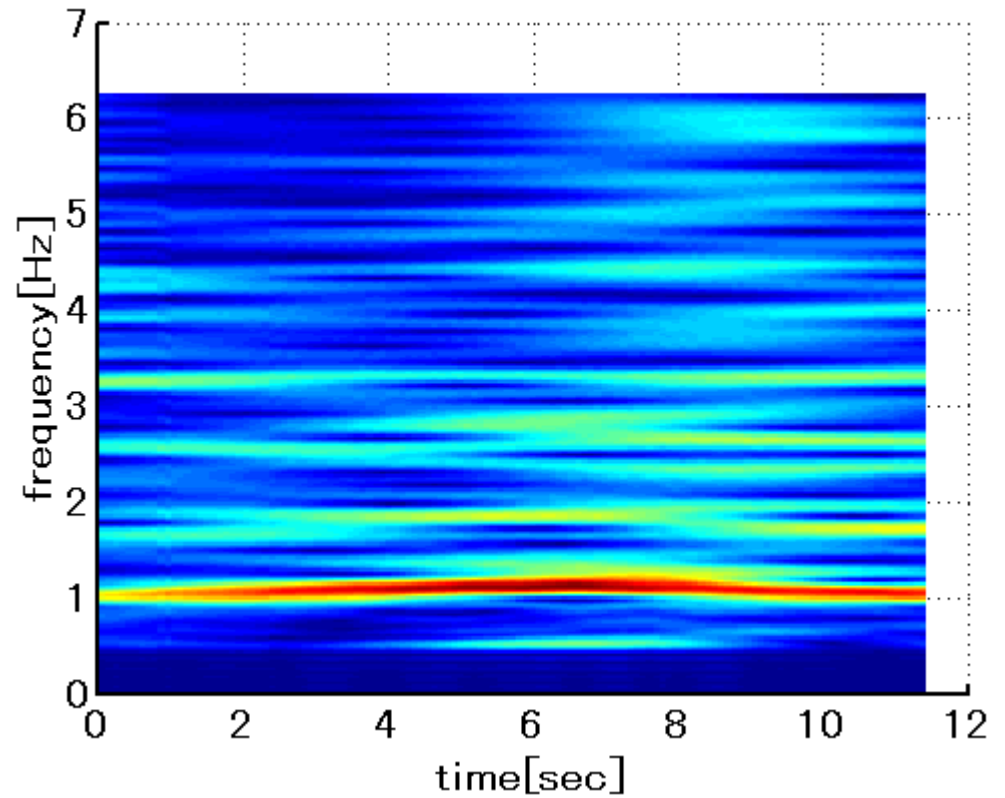
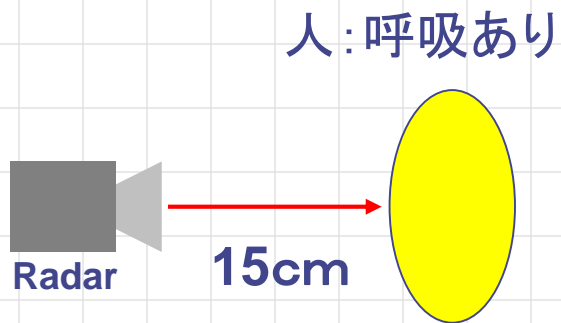
心拍の検知

- ◆ 変位の時間微分を ST-FFTLし, 時間-周波数スペクトルを求める

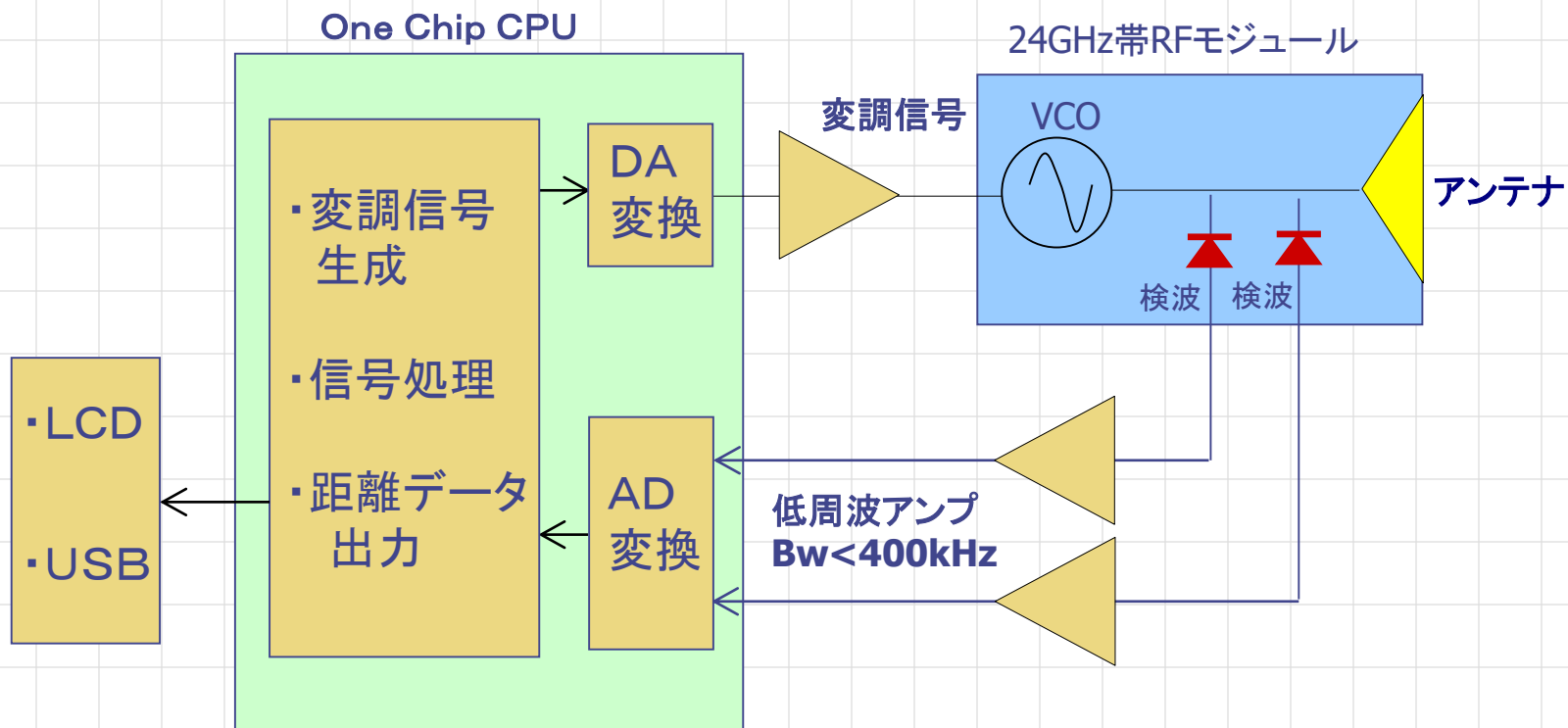


心拍の検知(呼吸あり)

- ◆ 0.8Hz以下の主要な成分を除去

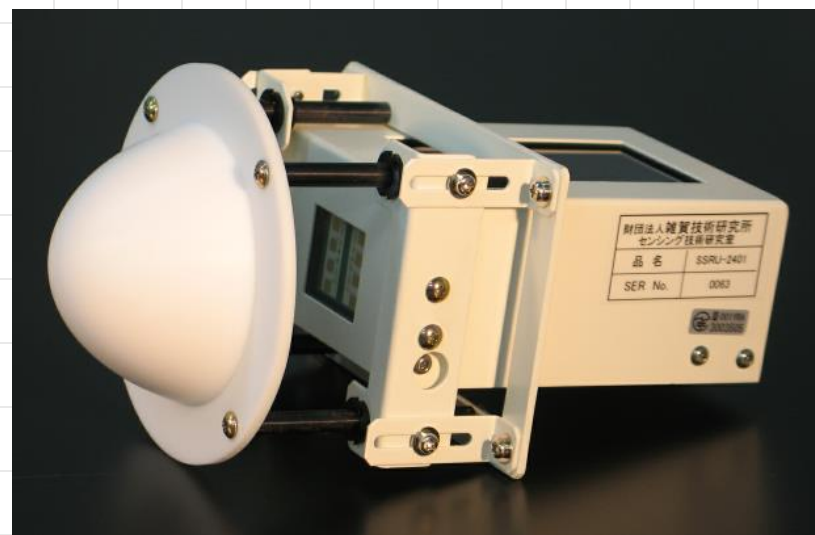
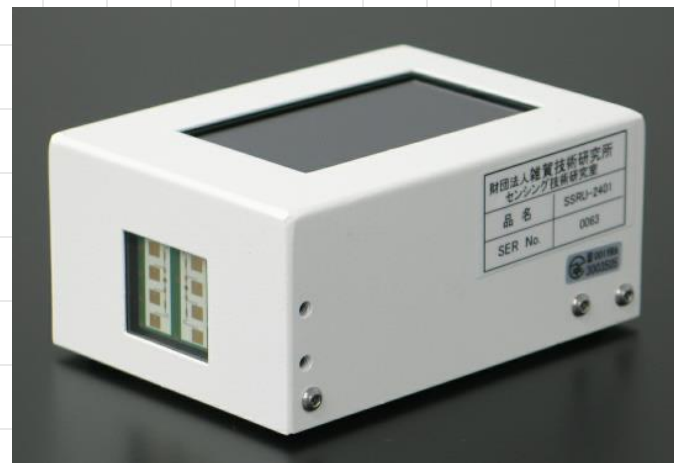
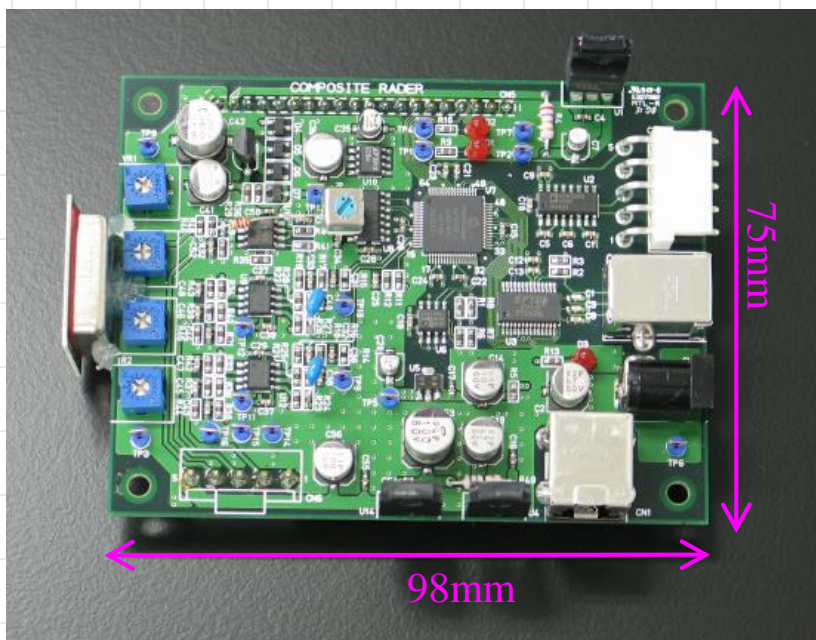


技術評価用定在波レーダの構成



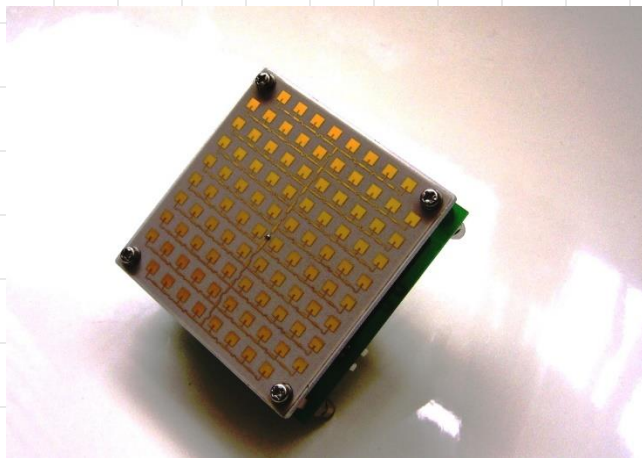
定在波レーダー技術評価キット 24GHz帯特定小電力

◆ SSRU-2401



定在波レーダー技術評価キット 24GHz帯特定小電力

- レベル計向け



- ショートレンジ向け

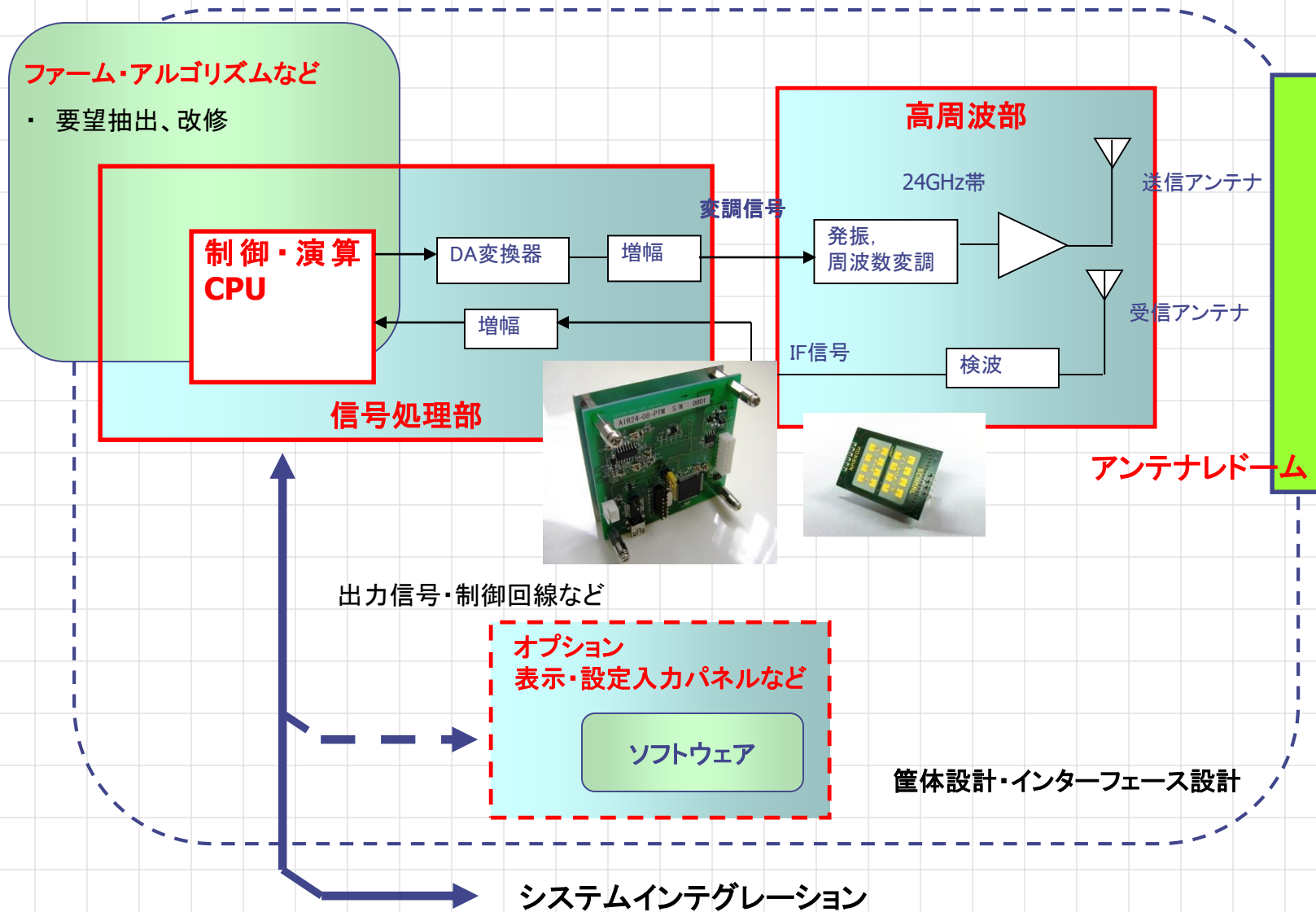


- アプリケーションに沿ったカスタマイズを承ります。

機能・性能仕様

項目	仕様
周波数帯域	24.05～24.25GHz(電波法準拠)
占有帯域幅	180MHz(暫定)
送信波出力電力	3mW
RFフロントエンド	IVS-167(InnoSenT)
MCU	ルネサス製RX612(R5F56128BDFP)
GUI	専用ソフトウェア(Windows)
デジタル出力	通信フォーマットによる出力
出カインターフェイス	USB並びにイーサネットなど(お打ち合わせにて)
測定周期	100msec
測定レンジ	0～20m
供給電源	DC : +6Vから+15V
筐体寸法(概略)	150 x 150x 80mm (以下)
重量(概略)	1kg以下(約400g)

定在波レーダーモジュール開発 業務セグメント



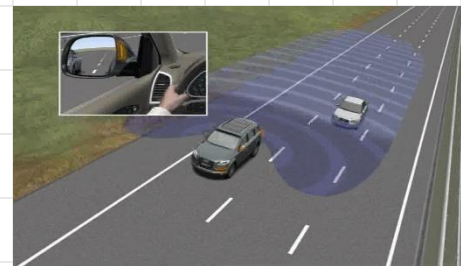
高周波部(RFモジュール)について

RFフロントエンドに使用するモジュールは、国内の電波法(ARIB STD-T-73)に準拠するレーダーモジュールで、欧米では同様の設計思想と品質保証の設計で、車載用途のドライバーアシスタントシステム(後方・側方監視)に使用されております。

高周波(24GHz)のVCO、パッチアンテナも内蔵した統合モジュールで、定在波レーダー方式で使用するアナログ変調に対応可納です。

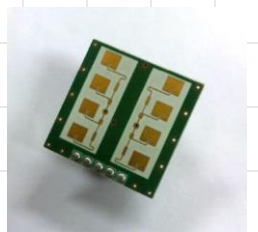
用途に応じてラインナップから選択可能です。

国内の電波法だけでなく、国際標準(欧米、南米、アジア諸国、アフリカなど)の屋外仕様規格に適合しますので、製品リリース後に海外への販路も展開可能です。

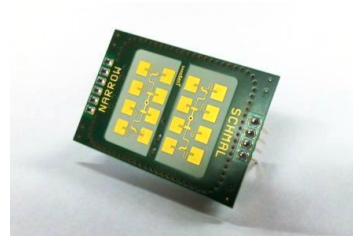


(参考) HELLA社 ドライバーアシスタントシステム
(採用製品は同等設計思想によるカスタマイズ品です)

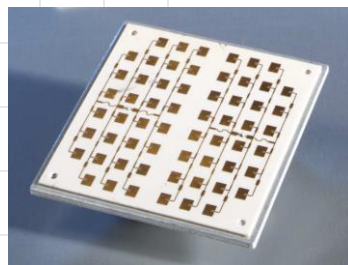
24GHz RFフロントエンドモジュール



IVS-465



IVS-162



IVS-948



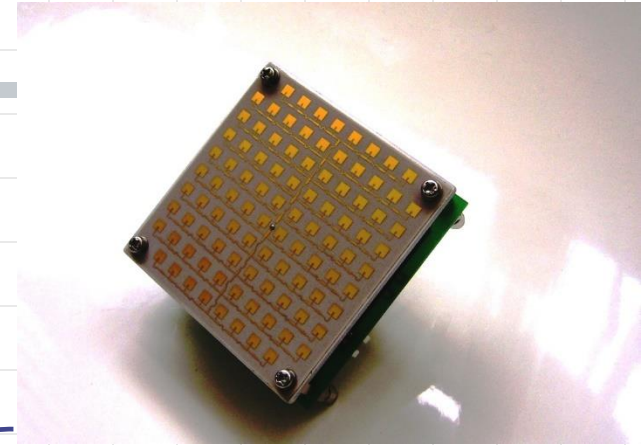
IVS-167



ご清聴有難うございました。

PTM
Corp.

Define & Design support



このたびの東日本大震災により被災された皆様、ならびに関係者の皆様に、謹んでお見舞いを申し上げます。

ピーティーエム株式会社 E401

TEL; 045-938-6322

URL; www.ptm-co.jp

Email; sales@ptm-co.jp

