

定在波レーダの基礎

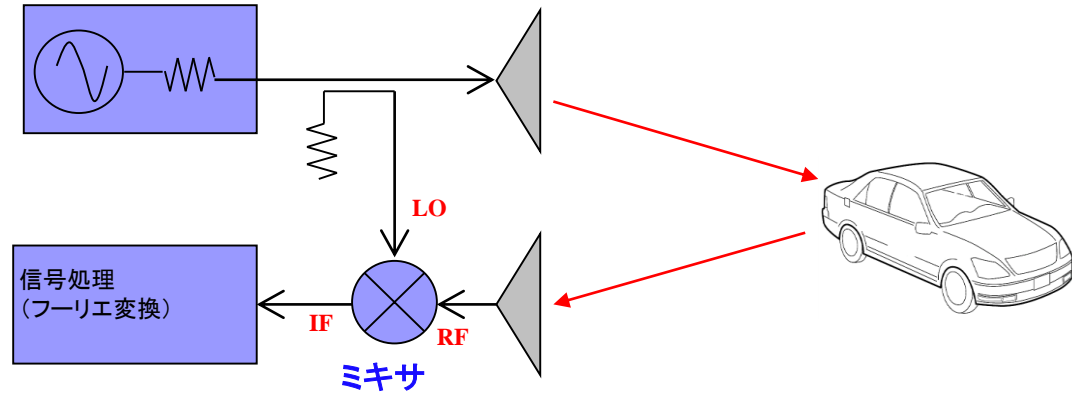
近畿大学 生物理工学部

上保徹志

定在波レーダ = FMCWレーダの一種

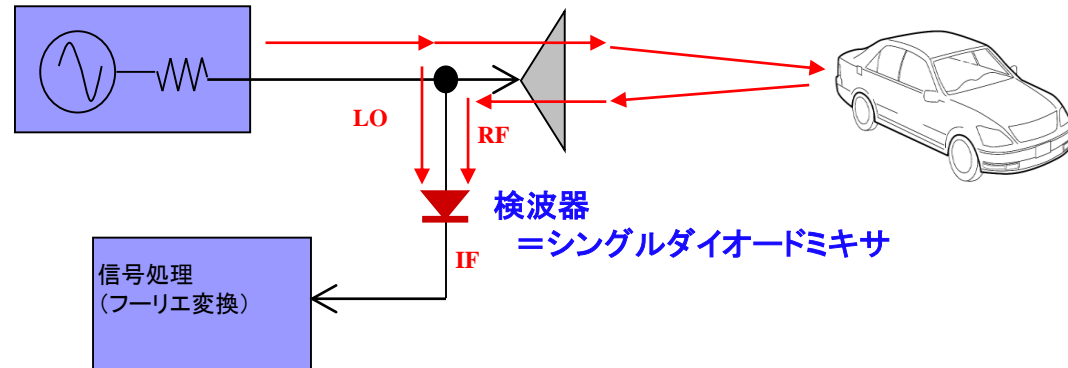
FMCWレーダ

周波数スイープ発振器



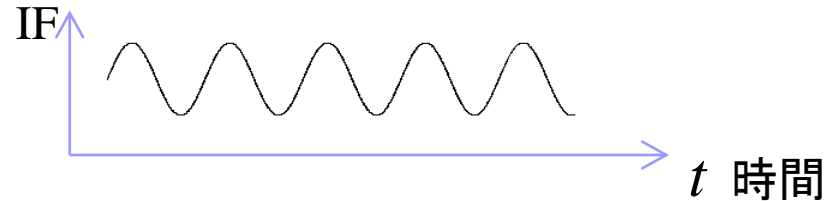
定在波レーダ

周波数可変発振器

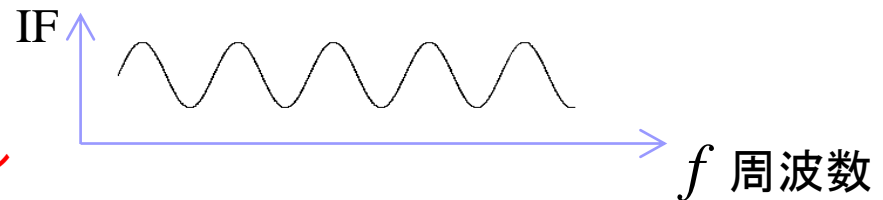


IF信号の見方

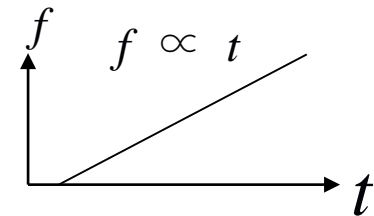
- FMCWレーダ
時間軸上の信号 = ビート信号



- 定在波レーダ
周波数軸上の信号
= パワースペクトル



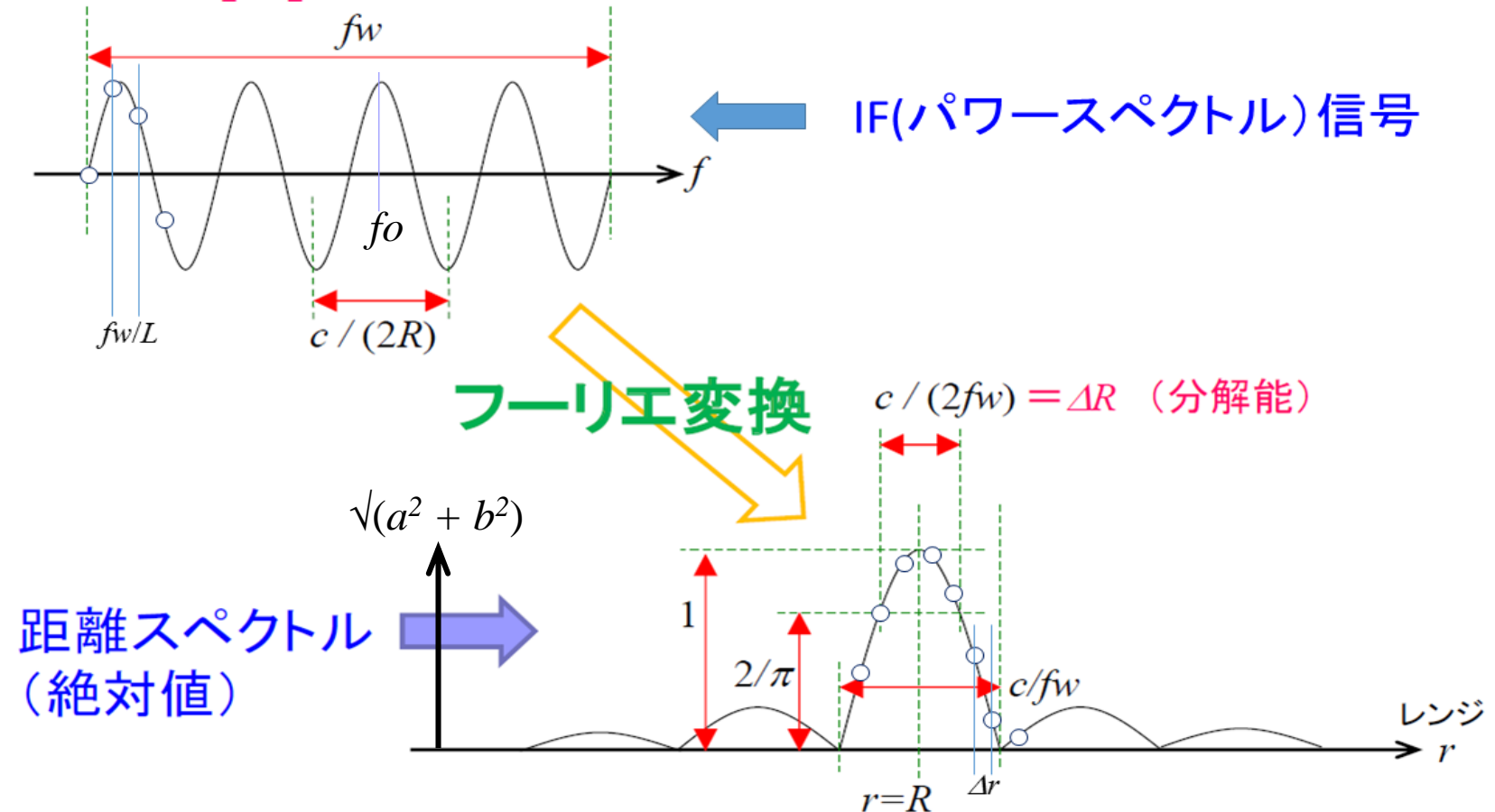
周波数を時間に対してリニアにスイープする場合、
 f と t は等価であり、単に目盛の違いだけ



定在波レーダは、パワースペクトルとして信号処理する
従来のFMCWレーダの信号処理を**定在波レーダと同様**にできる

信号処理

距離 R [m] に目標物がある場合

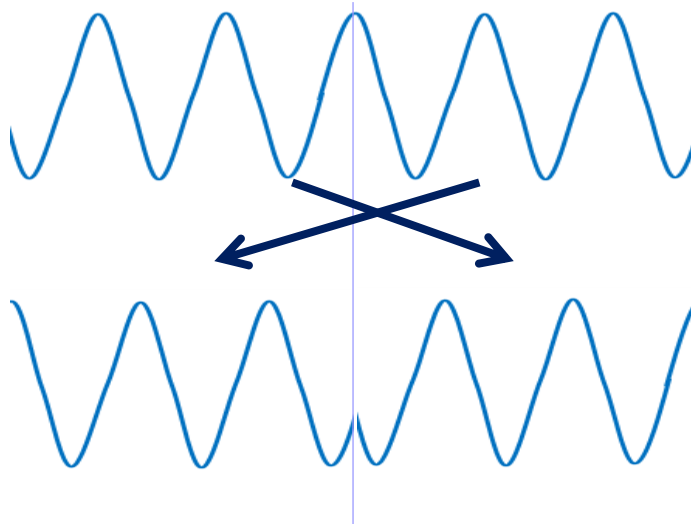


フーリエ変換とFFT

定在波レーダは、検波によって得られたIF信号をフーリエ変換することで距離スペクトルを求める。実際は、フーリエ変換ではなく、FFTにより距離スペクトルを算出することになる。したがって、フーリエ変換とFFTの違い認識しておく必要がある。

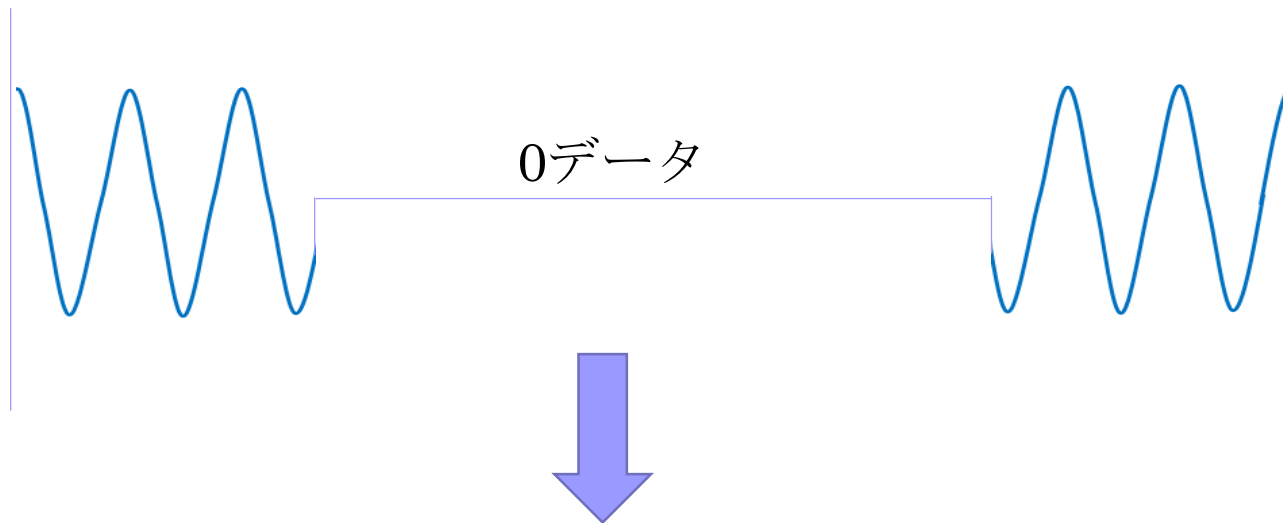
FFTを使ってフーリエ変換と同じ結果を得るには、以下の手順による。

1. 必要ならば最初に窓関数をかけ、その後データの前半と後半を入れ替え



フーリエ変換とFFT

2. ゼロ補填によってデータ長を伸ばす場合は、下図のように中間にゼロデータを挿入



これをFFTすることで、
フーリエ変換と同じ結果が得られる。

パラメータ

- (1) R_{\max} : 最大計測距離
- (2) f_w : 周波数スweep幅
- (3) Δr : 距離値算出分解能
- (4) ΔR : ターゲット分解能
- (5) L : IF (パワースペクトル) 信号サンプル数
- (6) M : FFT 長
- (7) f_o : 中心周波数
- (8) v : ターゲット速度
- (9) T : 周波数スweep時間
- (10) Δt : IF (パワースペクトル) 信号サンプリング周期
- (11) f_{BW} : IF (パワースペクトル) 信号帯域
- (12) D : ドップラにより生じる測距誤差

各パラメータの関係

サンプル数 L , FFT 長 M , 周波数スweep幅 f_W が決まれば以下のパラメータが決定される.

$$\Delta R = \frac{c}{2f_W} \quad (1)$$

$$R_{\max} = \alpha \cdot \frac{Lc}{4f_W} \quad (2)$$

$$\Delta r = \frac{c}{2f_W} \cdot \frac{L}{M} = \Delta R \frac{L}{M} \quad (3)$$

$$\alpha \leq 1 \quad (4)$$

ただし、 c は光速

時間に関わるパラメータ

周波数スweep時間 T を決めれば、IF（パワースペクトル）信号のサンプリング周期 Δt と信号帯域 f_{BW} は次式より決定される.

$$\Delta t = \frac{T}{L} \quad (5)$$

$$f_{BW} = \frac{2f_W R_{\max}}{cT} = \alpha \cdot \frac{L}{2T} \quad (6)$$

これらと式 (5) より、信号アンプとして、
 f_{BW} 以下の周波数を通過、 f_{BW}/α 以上の周波数を阻止できる周波数特性が必要.

ターゲットが速度 v で移動している場合、距離スペクトルのピーク位置は、真の距離ではなく、 D だけシフトした場所に生じ、測距誤差となる. これは、速度 v によって生じるドップラ現象によるものである.

中心周波数が f_o のとき、

$$D = \frac{f_o}{f_W} T v \quad (7)$$

パラメータの例

$f_w=200\text{MHz}$, $L=256$, $M=1024$ のとき

$$\Delta R = 0.75\text{m}$$

$$R_{\max} = 96\text{m} \quad (\alpha=1 \text{ の場合})$$

$$\Delta r = 0.1875\text{m}$$

$T=256\mu\text{s}$ のとき

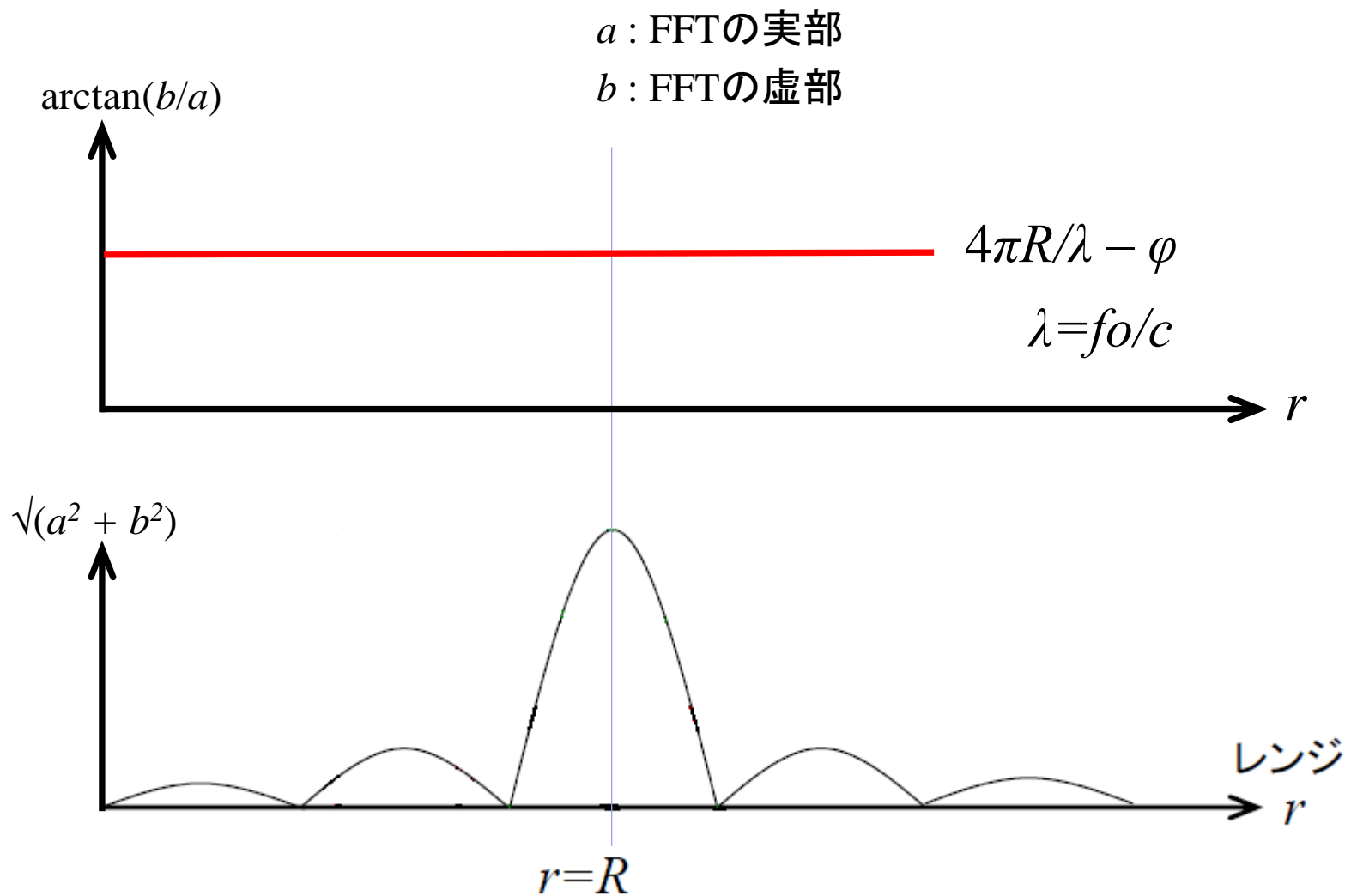
$$\Delta t = 1\mu\text{s}$$

$$f_{\text{BW}} = 500\text{kHz} \quad (\alpha=1 \text{ の場合})$$

$f_o=24\text{GHz}$, $v=10\text{m/s}$ (36km/h) のとき

$$D = 0.307\text{m}$$

位相



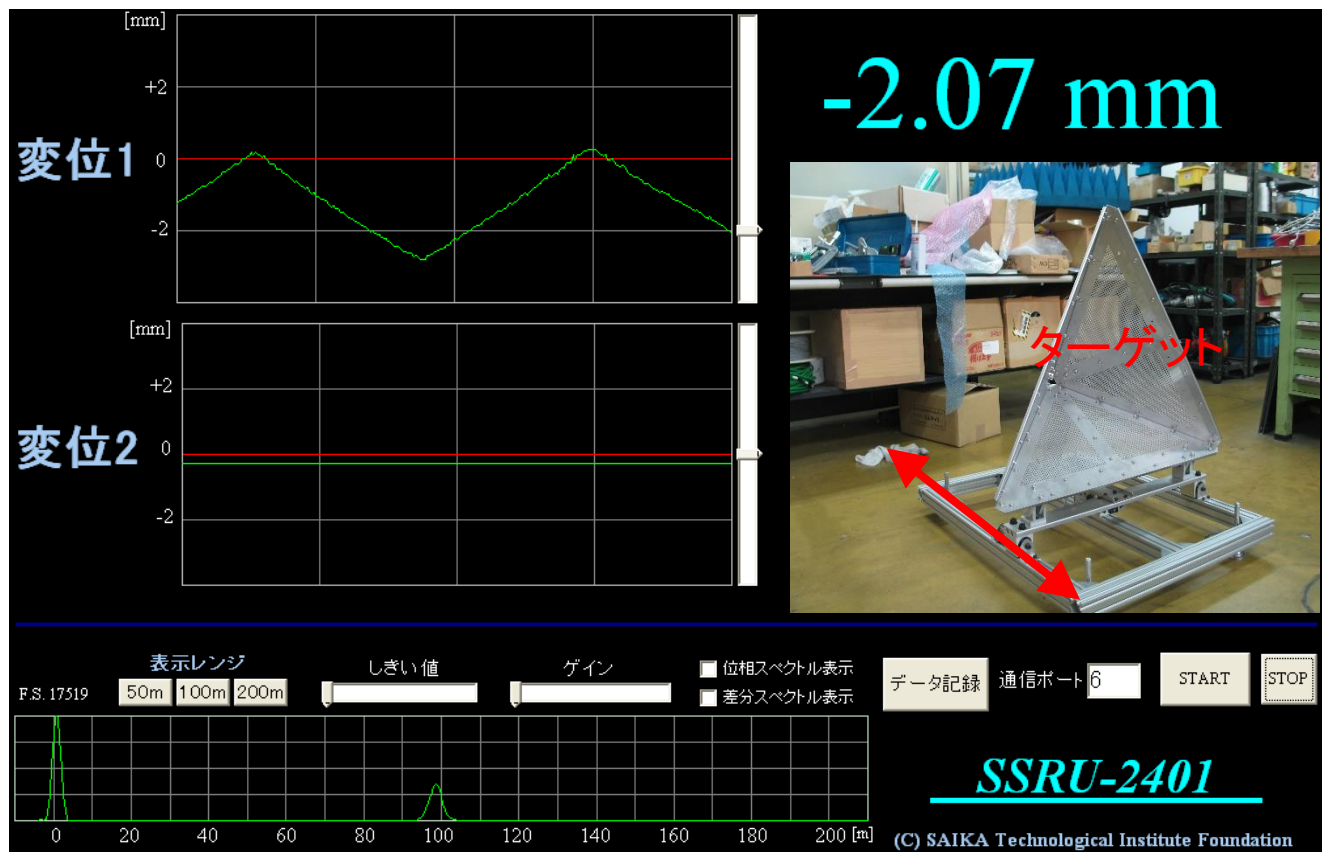
変位（距離の変化）に対する位相

$f_0=24\text{GHz}$ の場合、 $\lambda=12.5\text{mm}$

$$\begin{aligned}\frac{\partial(4\pi R/\lambda - \varphi)}{\partial R} &= 4\pi/\lambda \\ &= 1005.3[\text{rad/m}] = 57.6[\text{deg/mm}]\end{aligned}$$

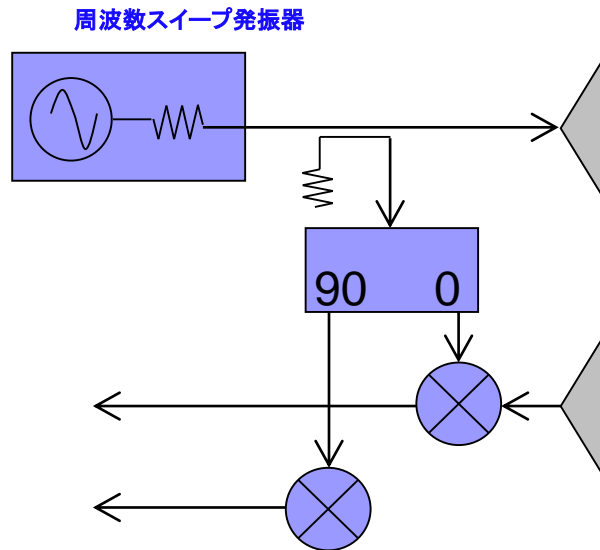
変位計測の例 ($f_0=24\text{GHz}$)

- レーダから100mの位置にターゲットを設置
ターゲットを3mmの幅で往復させる.

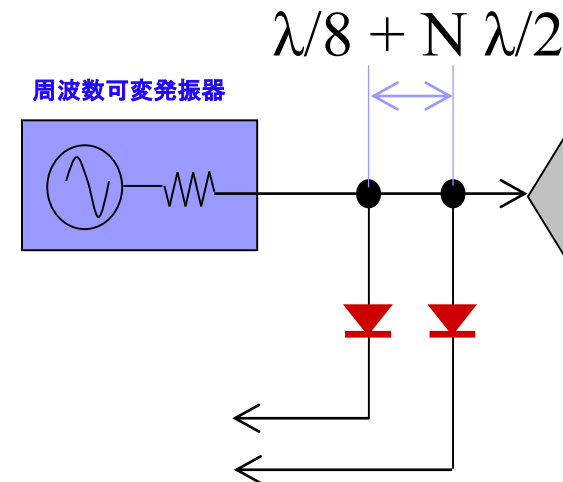
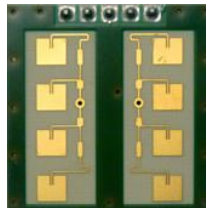


定在波レーダの例

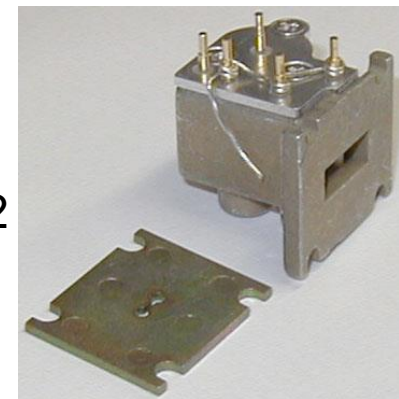
直交IF信号を得る構成 → ほぼ0mの至近まで測距可



IVS465他
イノセントの
モジュール

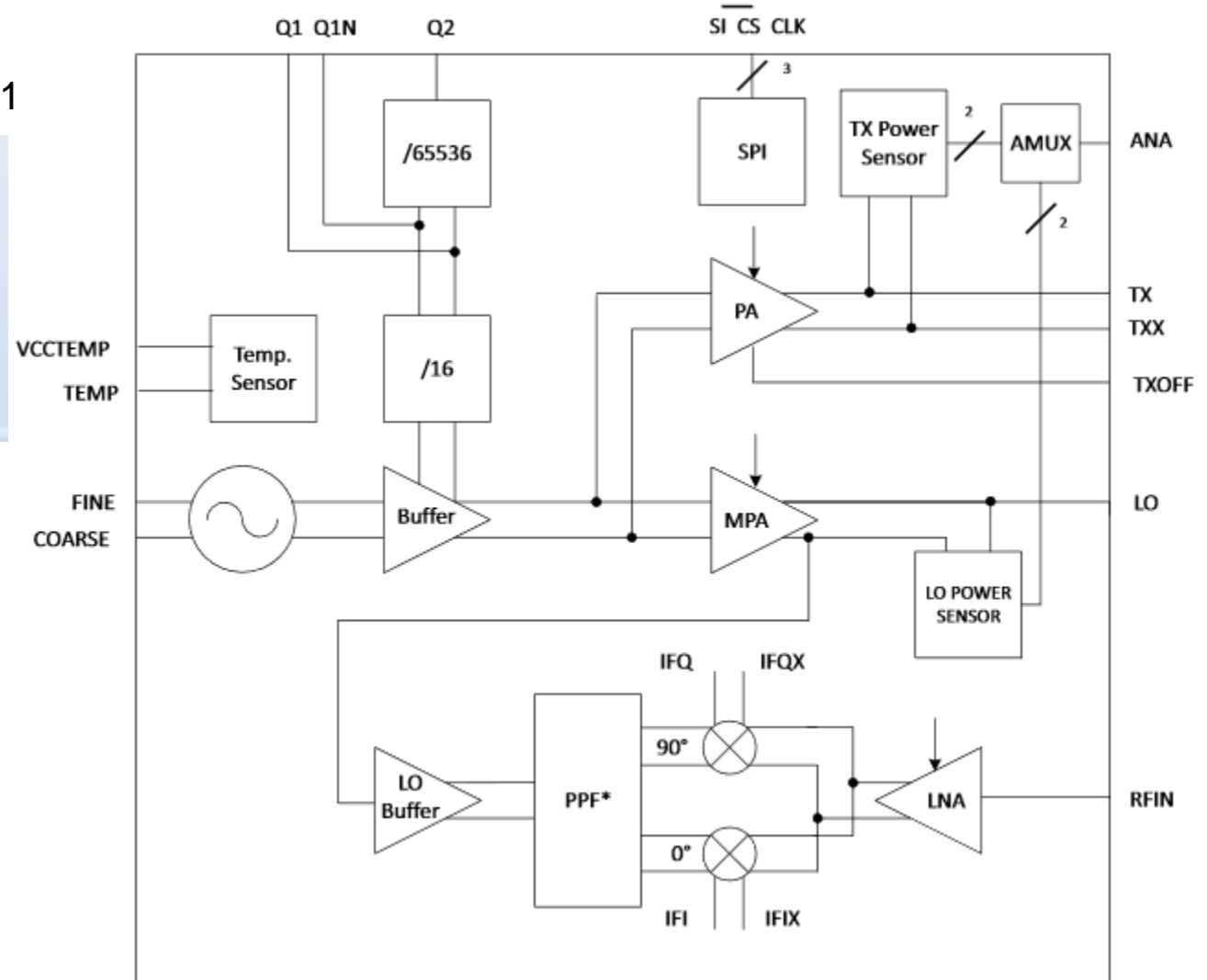


MDT
MO9072



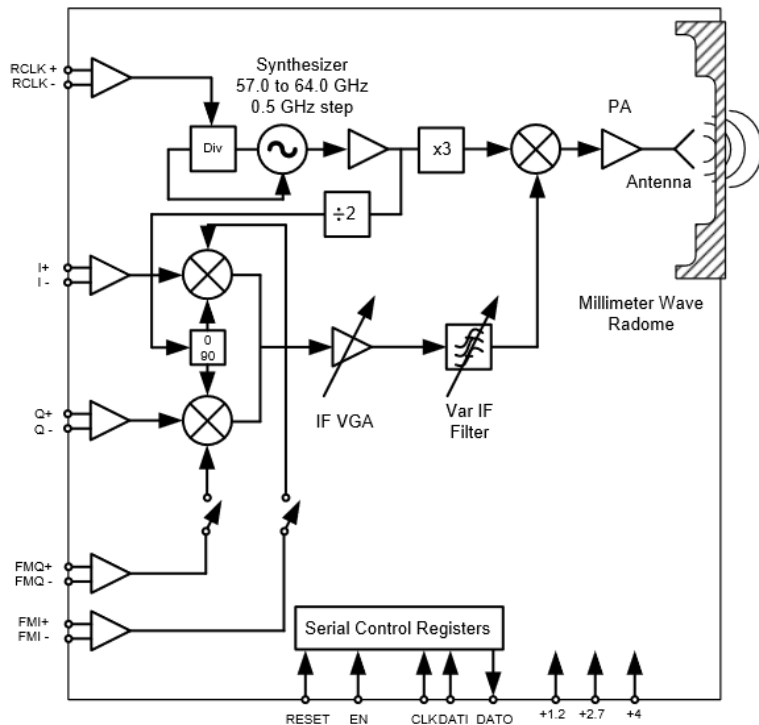
その他のデバイス(24GHz)

Infinion BGT24MTR11

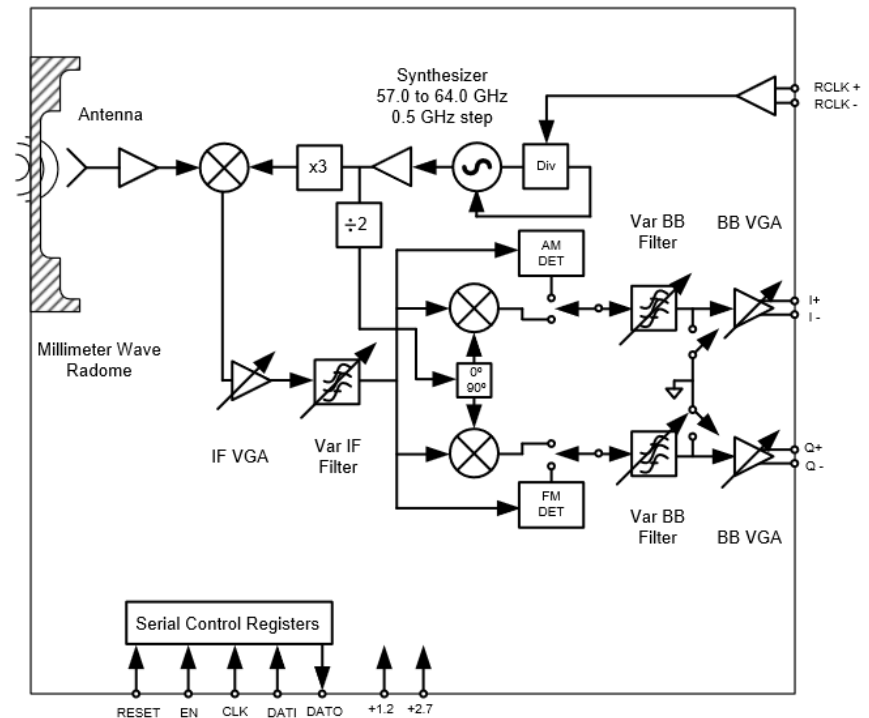


その他のデバイス(60GHz)

Vubiq V60TX101

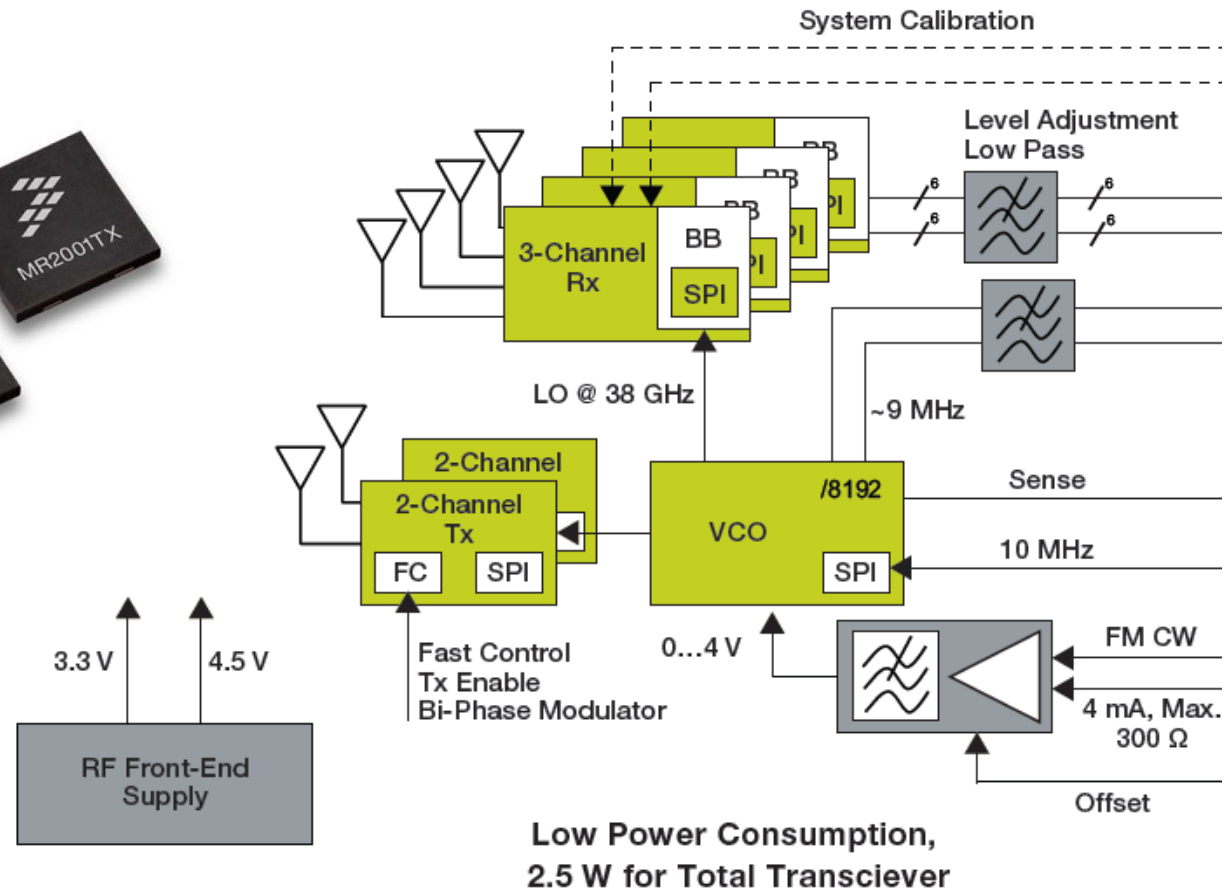
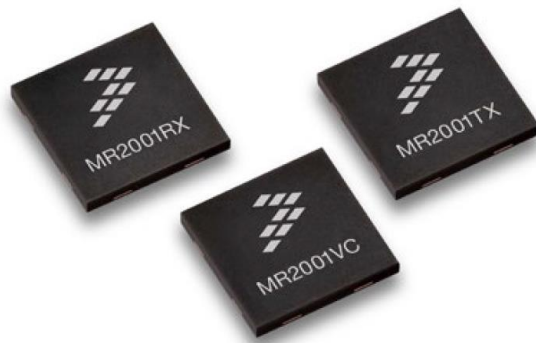


Vubiq V60RX101



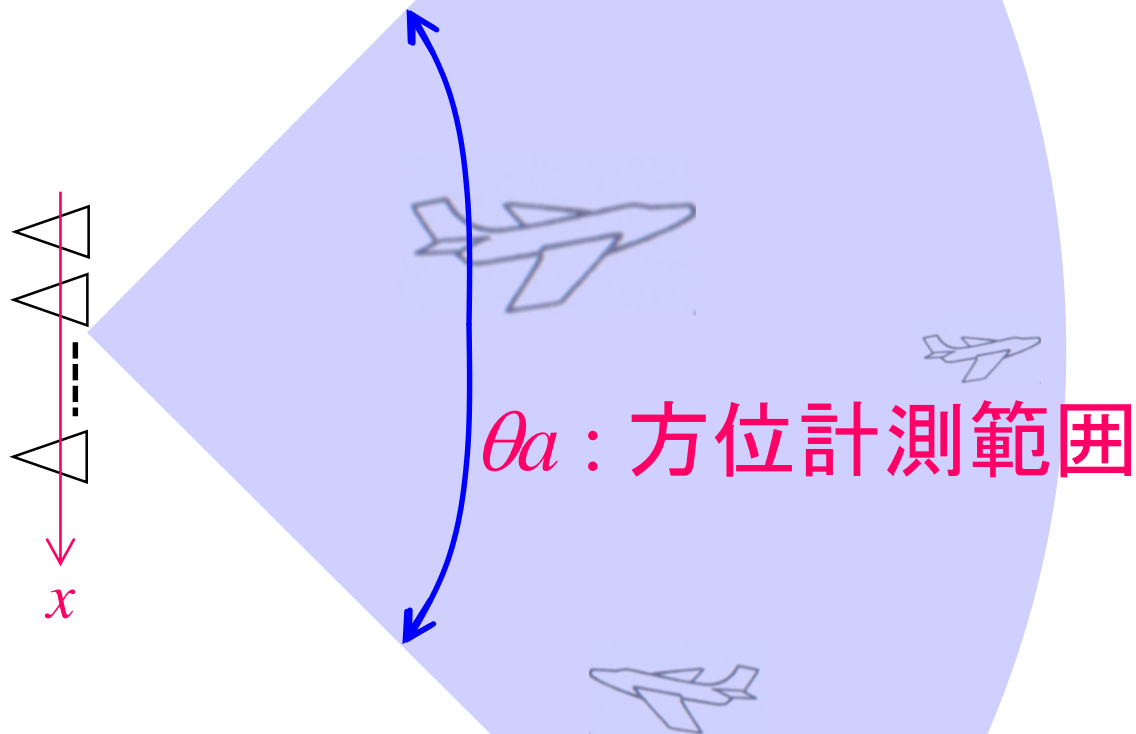
その他のデバイス(77GHz)

Freescale 77GHz Radar Chipset
MR2001



合成開口レーダ (SAR)

アンテナアレイ, あるいは
小開口アンテナを直線的にスキャンすることによって,
距離と方位の2D, あるいは3Dプロフィールを得る.



SARによるイメージ算出方法

- レーダの移動範囲に対して,
目標物が十分遠く (フラウンホーファ領域) あれば,
近似によって, 比較的単純な計算で求めることができる.

- 近距離 (フレネル領域 $< 2D^2/\lambda$) の場合は,
別の処理方法が必要
 - フレネル近似
 - レーダホログラフィなど

フラウンホーファ領域における演算方法

x, y 方向のアンテナ走査範囲を L_x, L_y とする.

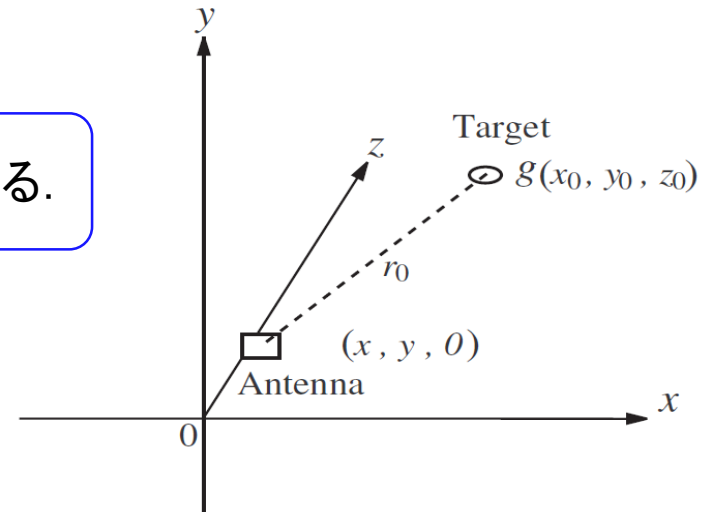
パワースペクトル: $p(f, x, y, 0)$

距離スペクトル:
$$P(x, y, r) = \int_{-f_W/2}^{+f_W/2} p(f, x, y, 0) e^{-j \frac{4\pi r f_d}{c}} df_d$$

遠方では, $z_0^2 \gg (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$ よって, $P(x, y, r) \approx P(x, y, z_0)$

3Dプロファイル:

$$g(x_0, y_0, z_0) \approx e^{-j \frac{4\pi f_0}{c} z_0} \int_{-L_y/2}^{+L_y/2} \int_{-L_x/2}^{+L_x/2} P(x, y, z_0) e^{j \frac{4\pi}{c} \frac{f_0 x_0}{z_0} x} e^{j \frac{4\pi}{c} \frac{f_0 y_0}{z_0} y} dx dy$$

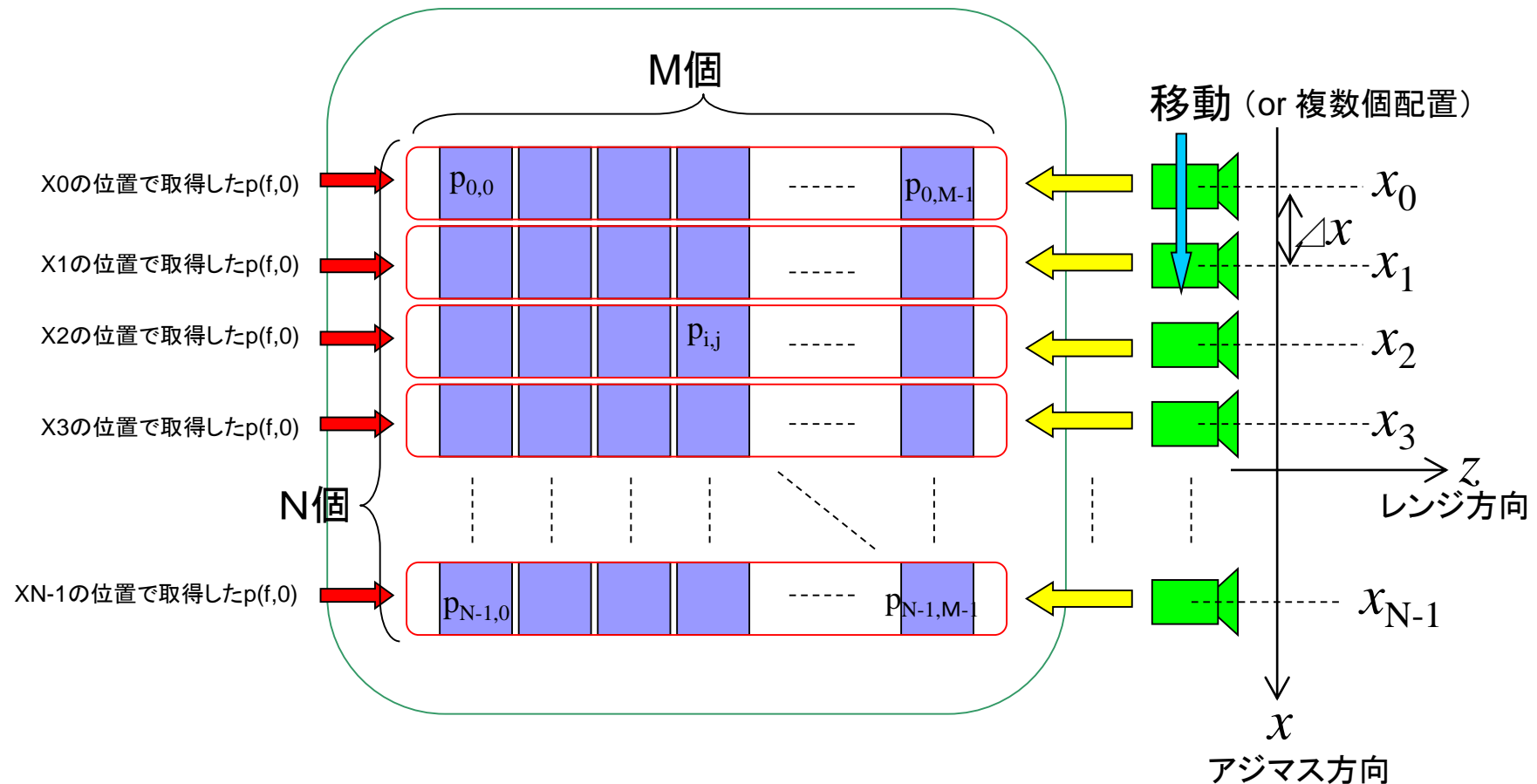


具体的な演算方法（2Dの例）

〔STEP1〕

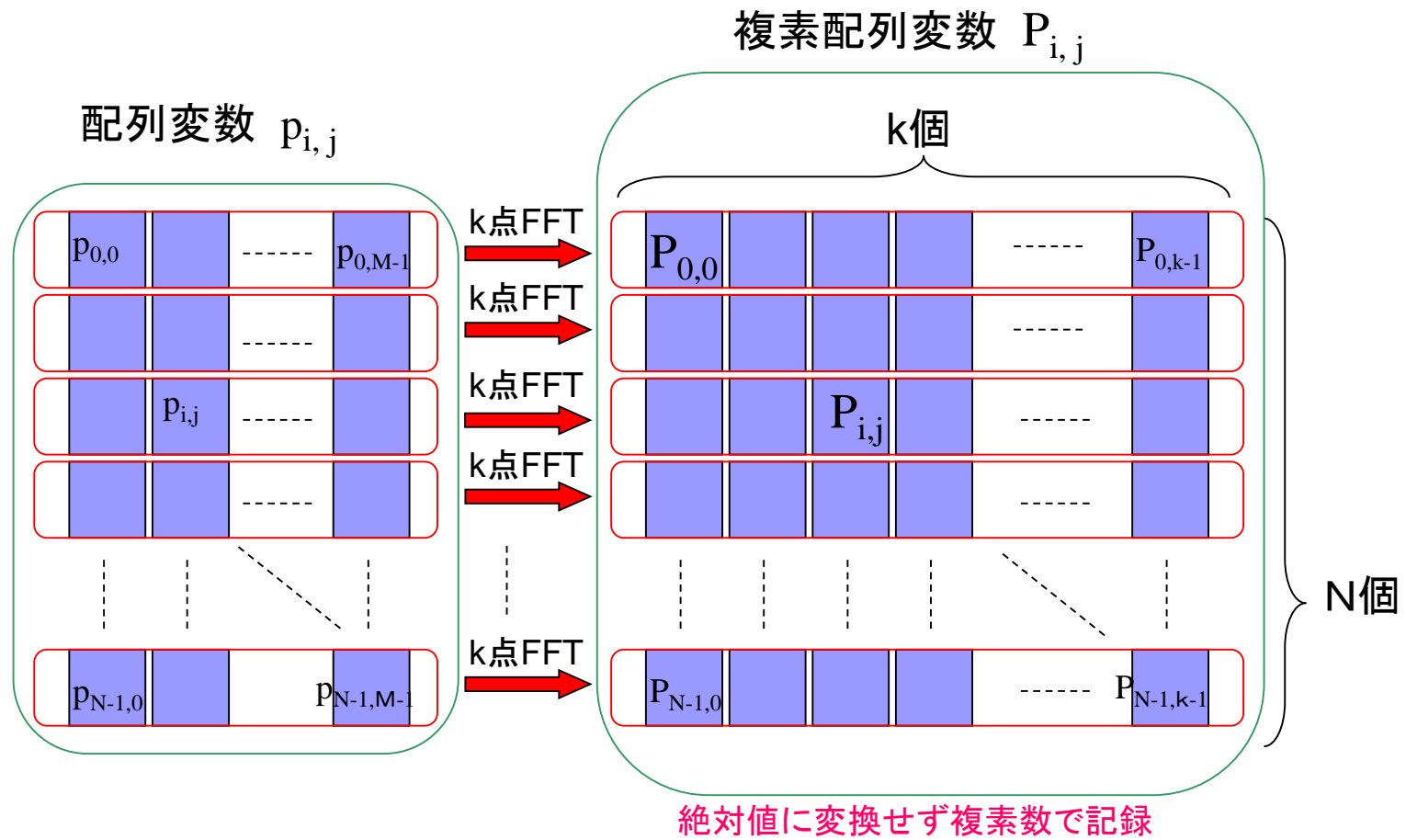
アジマス方向に移動しながらパワースペクトルを記録

配列変数 $p_{i,j}$



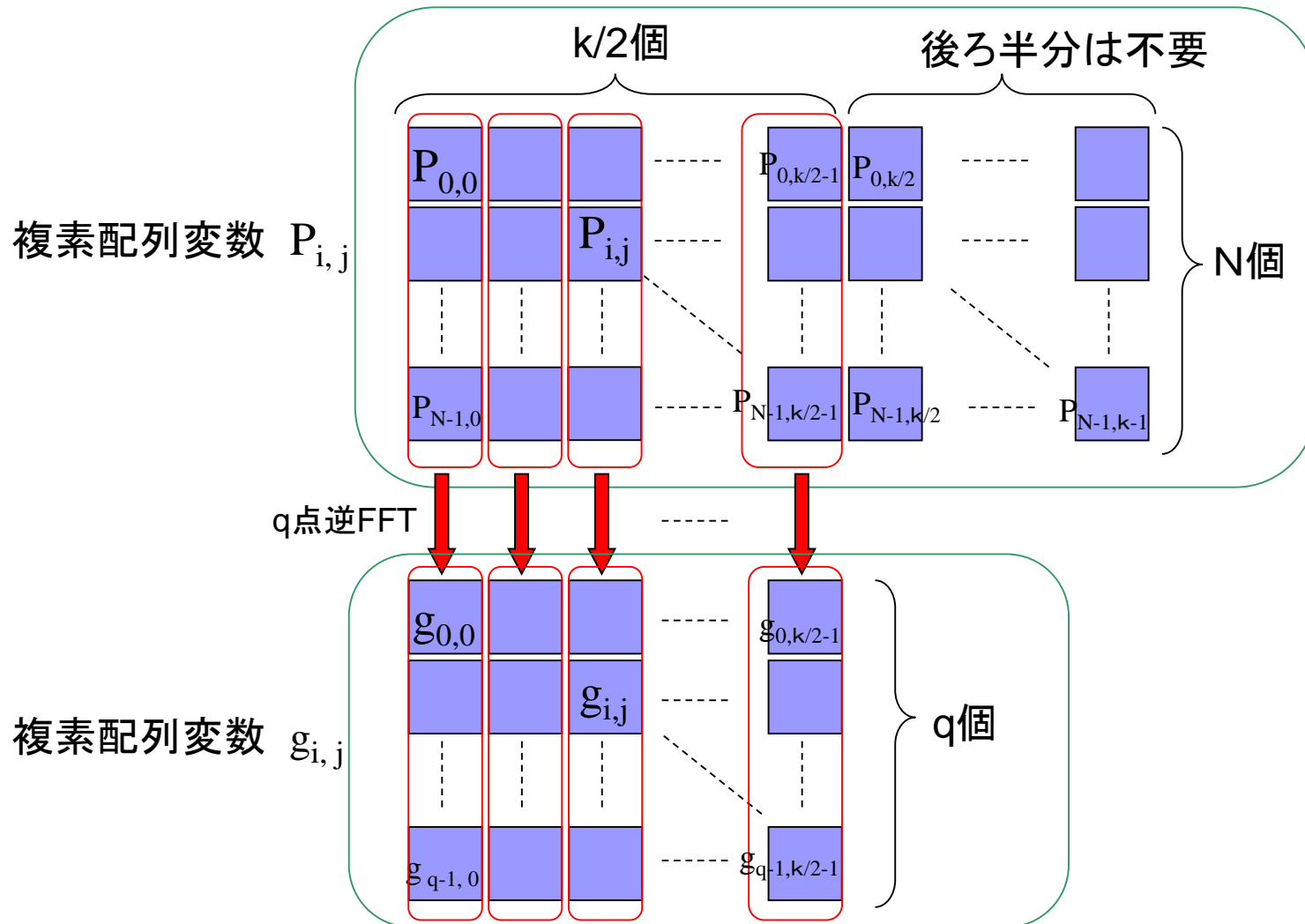
[STEP 2]

各パワースペクトルをフーリエ変換



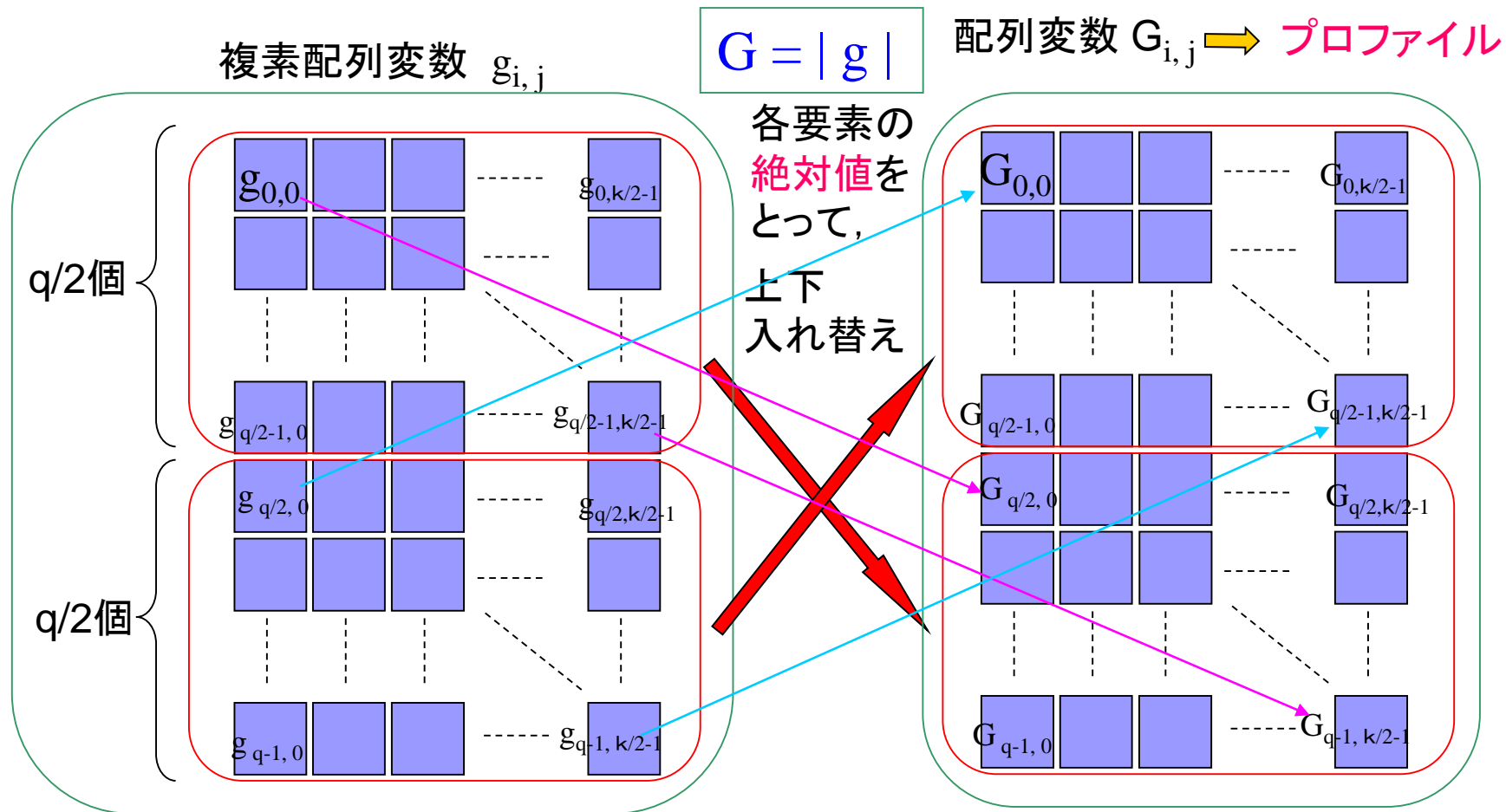
[STEP 3]

レーダの移動方向(アジマス方向)に逆フーリエ変換

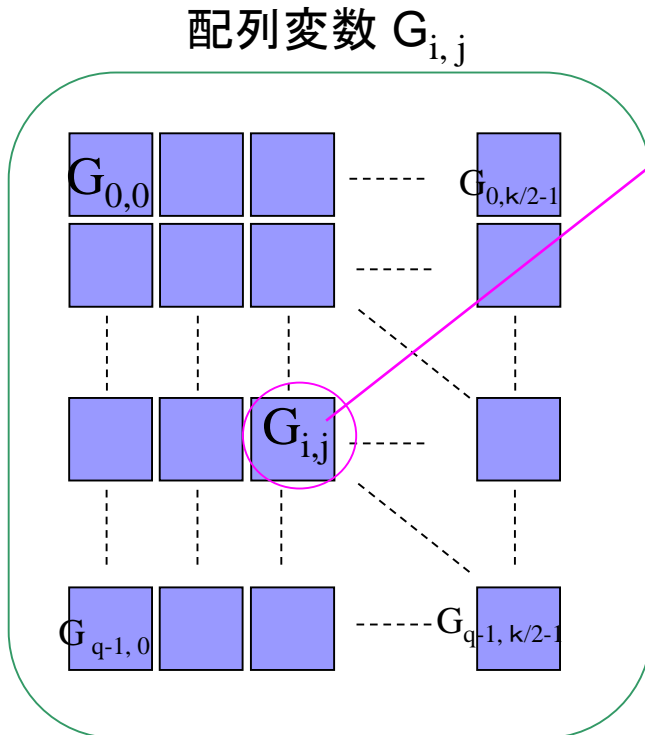


[STEP 4]

並べ替えを行い, 2Dプロフィール得る



〔STEP 5〕 各要素の座標(座標変換)



$G_{i,j}$ の実空間上の座標

$$z = j \times \frac{3 \times 10^8 \times M}{2 f_w \times k}$$

$$x = (i - q/2) \times \frac{3 \times 10^8 \times z}{2 f_o \times q \times \Delta x}$$

f_o : 中心周波数(Hz)

f_w : 周波数スweep幅(Hz)

M : ビートデータ長

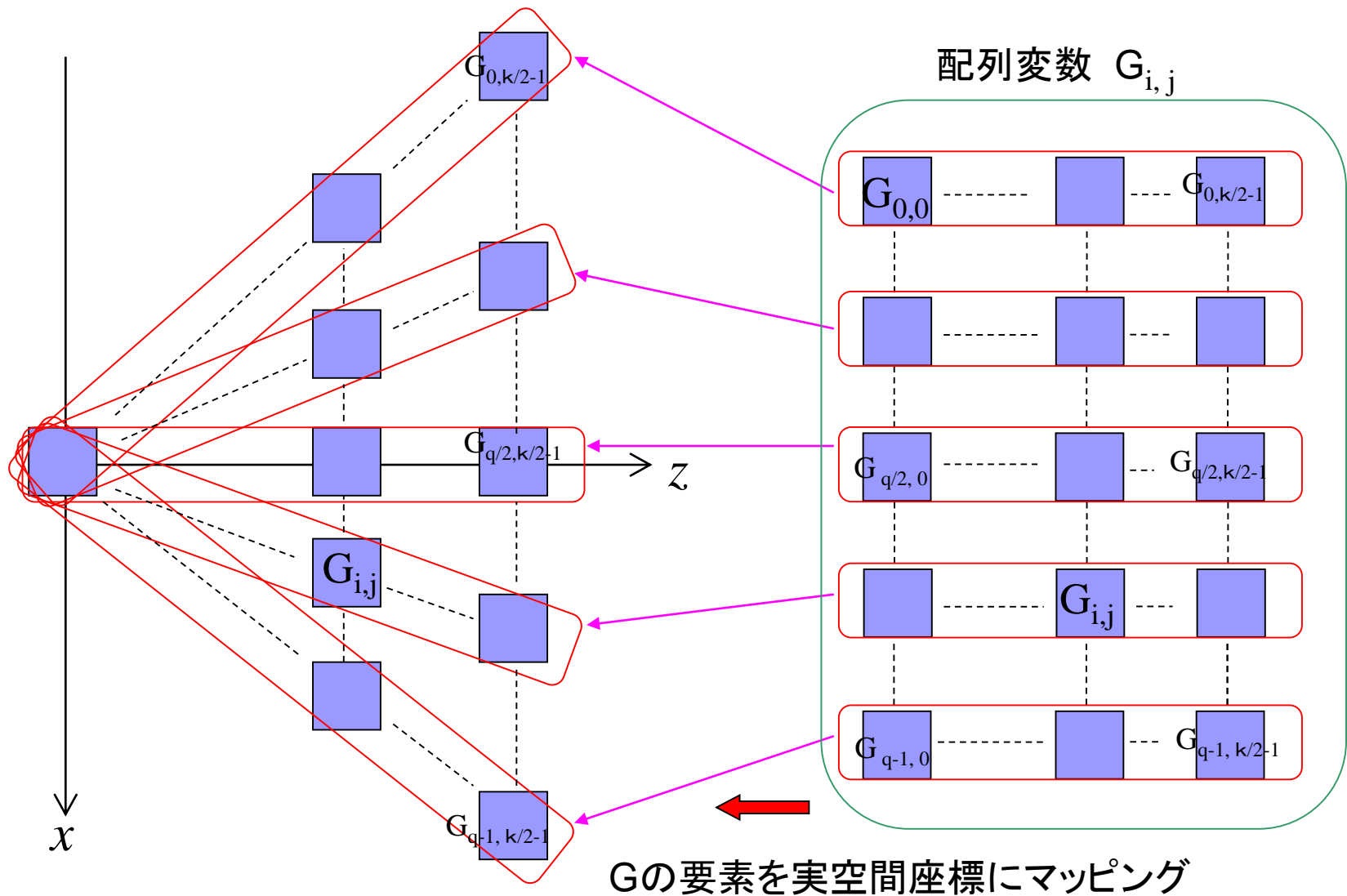
k : FFT長

q : 逆FFT長

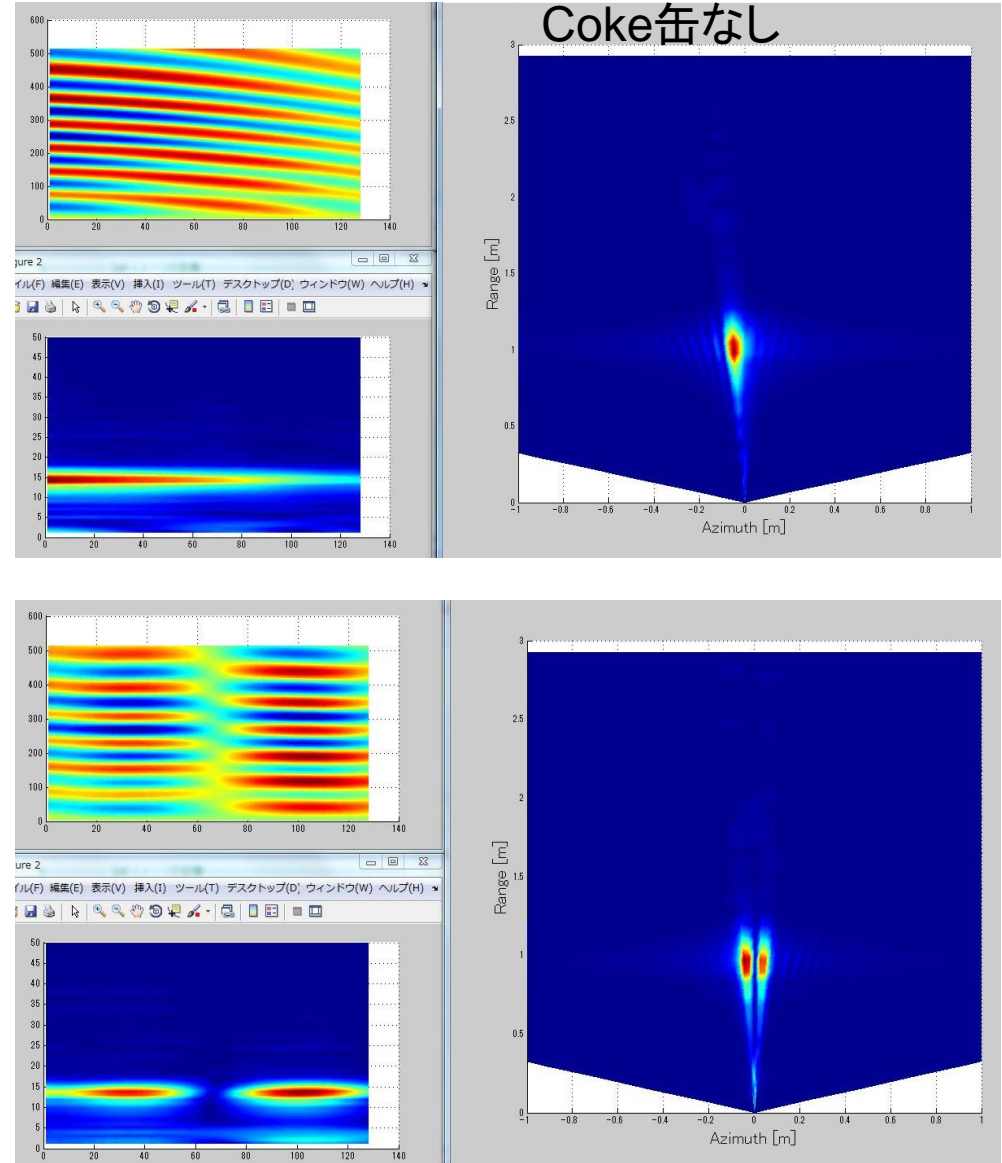
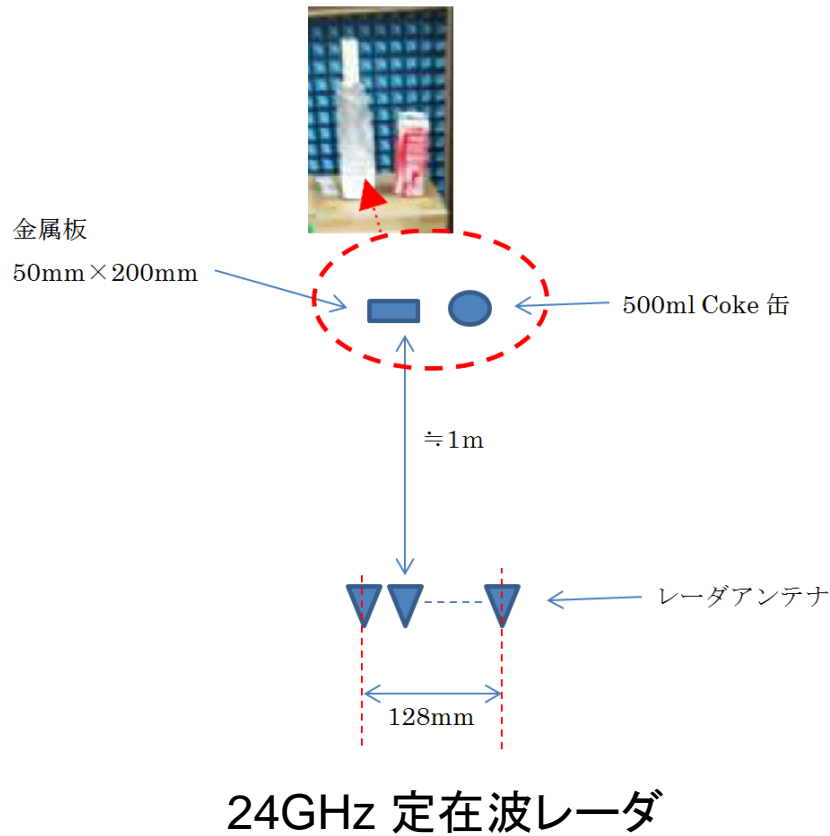
Δx : レーダ移動ピッチ(m)

方位計測範囲: $\theta a = 2\sin^{-1}\{ \lambda/(4\Delta x) \}$

〔STEP 6〕 Gの各要素と実空間の対応



SARイメージの例



参考文献

1. 上保 徹志, 他
"定在波を用い数10cmから測定可能な高分解能レーダ",
電子情報通信学会技術研究報告, IT2000-70, pp.161-166, March 2001
2. T. Uebo, et al.,
"Short Range Radar Utilizing Standing Wave of Microwave or Millimeter Wave",
Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2001, pp.95-99, May 2001
3. S. Fujimori, T. Uebo, et al.,
"Measurement of Distance and Velocity of a Moving Target by Short-Range High-Resolution Radar Utilizing Standing Wave",
Proc. of the IEEE International Symposium MWSCAS 2004, vol.1, pp.361-364, July 2004
4. T. Uebo, et al.,
"Standing Wave Radar Capable of Measuring Distances Down to Zero Meters",
IEICE TRANS. COMMUN., vol.E88-B, no.6, pp.2609-2615, June 2005
5. 上保 徹志,
"0mから測距可能な定在波レーダ",
電気学会論文誌C, vol.125-C, no.11, pp.1646-1651, Nov. 2005
6. 大窪 義博, 上保 徹志,
"距離0mから測距可能な定在波レーダの測定原理の実験的検証",
電子情報通信学会論文誌, vol.J89-B, no.7, pp.1141-1150, July 2006

特許

- 特許第4293194号
「距離測定装置、及び距離測定方法」
- 特許第3461498号
「距離測定装置、距離測定設備および距離測定方法」
- 特開2004-325085
「距離測定方法、及びそれを適用した距離測定装置、
並びにそれを適用した距離測定設備」
- 特願2004-146358
「距離測定装置、距離測定方法および距離測定プログラム」

お問い合わせ ;

ピーティーエム株式会社

TEL; 045-938-6322

URL; www.ptm-co.jp

Email; sales@ptm-co.jp