

(4) 必要トルクの算出

必要トルクを求めるには、負荷トルクと加速トルクを求める必要がある。負荷トルクは、駆動方式、移動させる装置の重量によって大きく変わるので正確に求めることはできないが、ボールネジと直結で駆動させる場合は以下のように求めることができる。

$$F = F_A + W(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \text{ [kg]}$$

ここで、Fは軸方向加重を示す。F_Aは外部からの力で、0。Wは重量でここでは余裕をみて10 kg、μはスライドシャフトの摩擦係数で0.1。αは傾斜角度で0。これらを代入すると F=1 [kg] となる。

$$T_L = \frac{F P_F}{2\pi \eta} \times \frac{\mu_0 F_0 P_F}{2\pi} \text{ [kg/cm]}$$

負荷トルク T_Lは上記の式で求められる。P_Fはボールネジのピッチで1cm、ηは効率で0.9。μ₀は予圧ナットの内部摩擦係数で0.3とする。F₀は予圧加重で、これはFの1/3で代用でき、0.33。これらを代入すると T_L ≒ 0.2 [kg/cm] となる。

つぎに加速トルクを算出する。加速トルク T_aは次式で求めることができる。

$$T_a = \frac{J_0 + J_L}{g} \times \frac{\pi \cdot \theta_S \cdot f_2^2}{180 \cdot n} \text{ [kg cm]}$$

J₀：ローター慣性モーメント [kg cm²]

J_L：全慣性モーメント [kg cm²]

θ_S：ステップ角 [°]

f₂：運転パルス速度 [Hz]

n：係数 (=3.6°/θ_S)

ここで、J₀はカタログに記載されており、J_Lを求めてみる。

$$J_L = J_B + J_T$$

J_B：ボールネジの慣性モーメント

J_T：移動させる装置の慣性モーメント

$$J_B = \frac{\pi}{32} \cdot \rho \cdot L_B \cdot D_B^4$$

$$\rho = (7.9 \times 10^{-3} \text{ [kg/cm}^3])$$

$$L_B = 150 \text{ [cm] } , D_B = 1.5 \text{ [cm]}$$

$$J_T = W \left(\frac{P_B}{2\pi} \right)^2$$

$$W = 10 \text{ [kg] } , P_B = 1 \text{ [cm]}$$

これらを計算すると、J_B ≒ 0.6、J_T ≒ 0.3となるので、J_L ≒ 0.9 [kg cm²] となる。

そこで、T_a ≒ 0.64 J₀ + 0.58 となる。J₀はカタログにより得られるが、ここでは4 [kg cm²]を代入すると、T_a ≒ 3.14 [kg cm] とする。

そこで、必要トルク T_M は

$$T_M = (T_L + T_a) \times \text{安全率}$$

で求められる。ここでは安全率を3として計算すると、T_M ≒ 10 [kg/cm] となる。

機械加工と組み付け

必要な機械加工は、ボール盤による穴あけと旋盤による部品の加工くらいであるが、出来上がり予定図は下図のようになる。

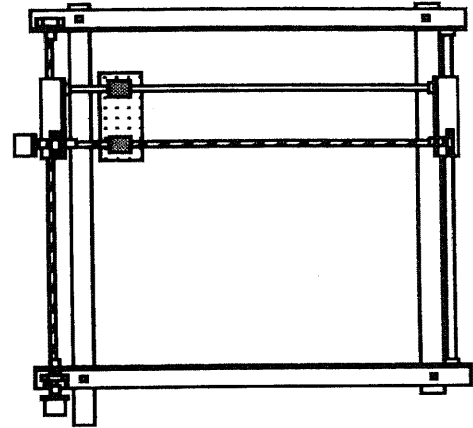


図1. 装置の完成図

上の完成図では、モータの固定がされていないが、特に下図のX部を動作させるモータは、出来るだけ軽量にしたかったため、モータの取り付けを後回しにして、良い方法を模索した。

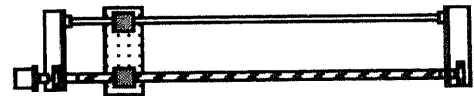


図2. 装置のX部

重量の増加を最小限に食い止め、モータとボールネジのセンター合わせが容易にでき、そしてなるべく簡単な加工でモータを固定する方法として、下の写真のように取り付けることにした。

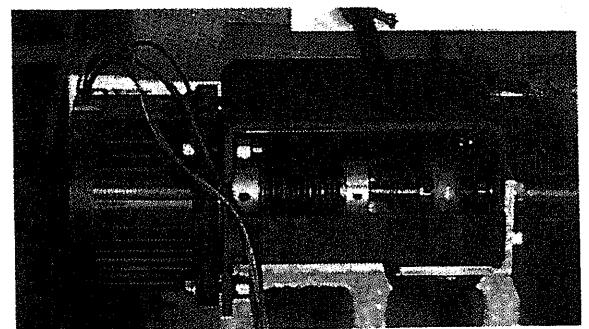


図3. X部のモータ取り付け

これは、角パイプを切断し、あとは簡単な加工しかしていない。だが、重量の増加は少なく、モータも精度よく固定することができた。

Y部のモータの取り付けであるが、こちらはフレームのLアングルがしっかりしているので、特にむずかしく考えることはなく、鉄板をT字に溶接してモータを取り付けた。Y部も最初はX部と同じ

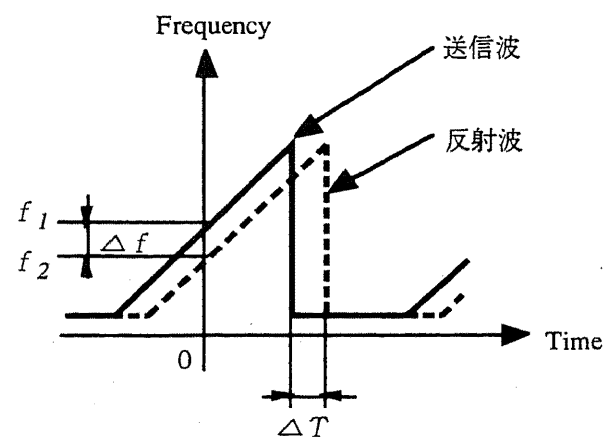
カップリングを使っていたが、使っているうちに破損してしまっただ。これは、X部より力がかかることもあるが、ステッピングモータの振動による部分もあると思われる。そこで、モータの振動も吸収できる樹脂製のカップリングに変更した。

3. 実験結果

実験結果を示す前にFM-CWレーダについて簡単に説明する。

FM-CWレーダは、線形に周波数変調を施した連続波を送信波として用いる。これを物体に照射し、物体からの反射波を受信波とする。送信波の周波数を時間的に変化させると、反射波が戻ってくる時間には、送信波の周波数は変わっているので、送信波の周波数 f_1 と受信波の周波数 f_2 の周波数の差 Δf を求めることができる。 Δf が求めれば、 ΔT が求まり、アンテナから物体までの距離を求めることができる。

また、レーダには実開口レーダと合成開口レーダがあり、前者はアンテナからの受信情報をそのまま記録するもので、アンテナのサイズによって分解能が決まるものである。これに対して、合成開口レーダは、ここでは小さな開口アンテナを移動させ、その間に得られた情報を合成し、信号処理するものである。今回の装置は、この合成開口FM-CWレーダのアンテナをスピーディーに、かつ精度よく走査させるための装置である。この装置をもちいて実験することによって、精度良いデータを取得し、複雑



$$\Delta T = \frac{2R\sqrt{\epsilon_r}}{c} \quad \epsilon_r: \text{比誘電率} \quad c: \text{光速}$$

図4. FM-CWレーダの原理図

な形状の物体のイメージングも可能となる。

次に、ポーラリメトリについて簡単に述べると、電波の持つベクトル性である偏波情報を利用する技術で、電波を照射する物体形状により、その反射波の偏波成分もさまざまに変化する。それらの情報には、反射電力と位相情報が含まれている。

偏波を考慮に入れたターゲットからの反射係数分布は、送受信の偏波の組合せによって得ることが出来るが、今回の実験では、水平偏波、垂直偏波の2つの直線偏波の組合せによって実験し、これから得られる情報から、物体のイメージングを行うものである。また、イメージングに有効な偏波状態も得ることが出来る。

以下に、わかりやすい実験結果を示す。まず直径6mm、長さ50cmの金属の丸棒を図5のように配置し、掃引周波数8.2-9.2GHz、アンテナから物体までの距離70cmにして、2次元走査によるポーラリメトリック測定を行った。なお、アンテナの走査間隔は15mm、走査点数は64×64である。偏波はX方向をH偏波、Y方向をV偏波とし、測定は送信アンテナ、受信アンテナが、それぞれVV、HH、VH偏波の3つの状態で実験を行った。

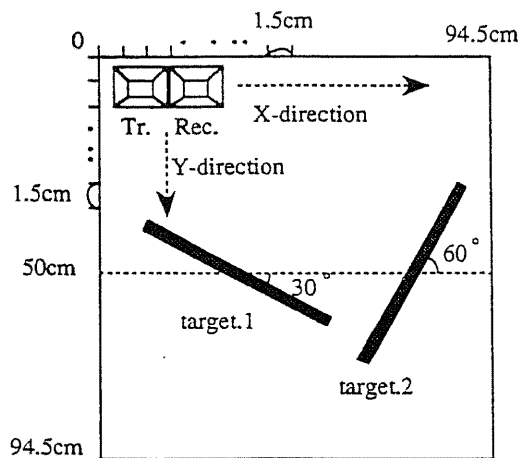
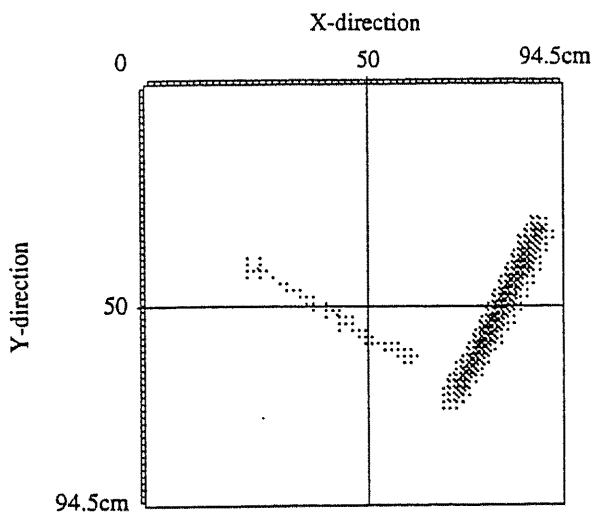


図5. ターゲットの配置図

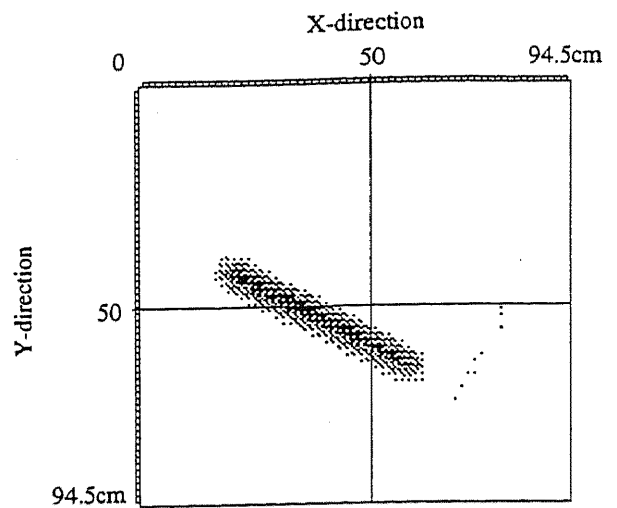
測定したイメージング結果を図6に示す。これらの結果は、測定から得られたデータを合成開口処理したものである。

VV偏波では、ターゲット2、HH偏波ではターゲット1の方が、それぞれ強く現れている。また、VH偏波ではどちらのターゲットも同じレベルとなっている。これらの結果は物体からの反射電力イメージであるが、物体の形状や傾きにより、偏波の方向によって受信レベルが大きく変わることが分かる。

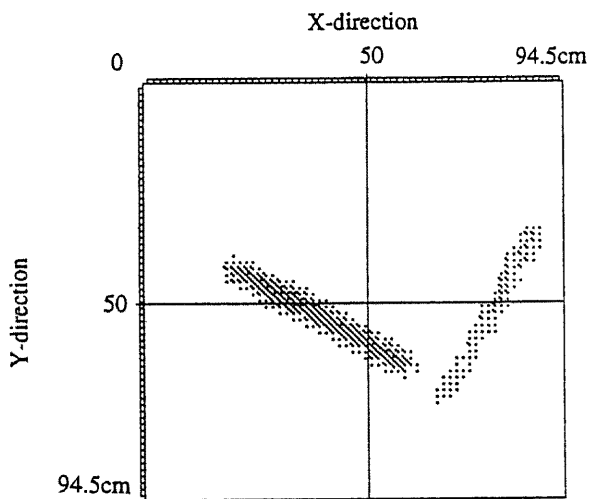
また、測定データから各ターゲットに対して反射電力が最大となる偏波状態 (Co-pol max) を求めることができ、それをイメージングしたのが図7であ



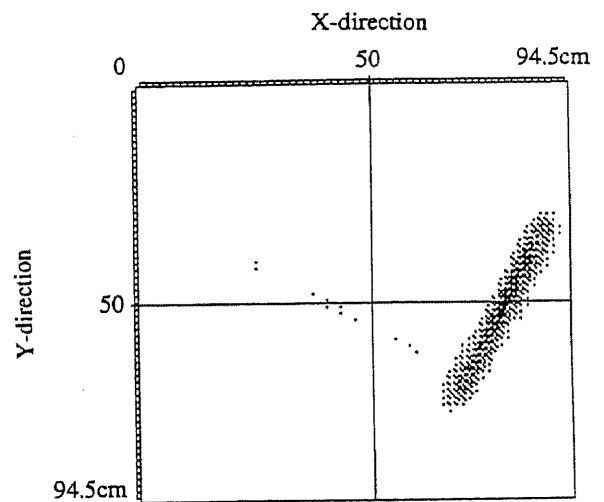
(a) VV偏波



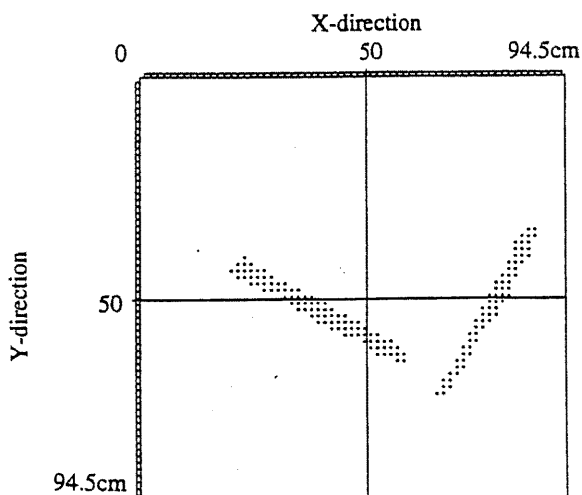
(a) ターゲット1



(b) HH偏波



(b) ターゲット2



(c) VH偏波

図6. 合成開口イメージ

図7. Co-pol max イメージ

る。

ターゲットはそれぞれ直交しているため、Co-pol maxを求めたターゲットではないほうのターゲットは、それぞれ反射電力は最小となっている。

模型飛行機のイメージング

次に、ターゲットとして模型飛行機を使った実験結果について報告する。

測定状況を図8に示す。ターゲットは、長さ30cm、幅30cmのプラモデルの飛行機である。なお、この実験では、表面に金属テープを貼ってある。

掃引周波数は15.5GHz-16.5GHz、走査間隔は0.8cm、走査点数は64×64点、走査幅は50.4cm、ターゲットからアンテナまでの高さは64.0cmである。

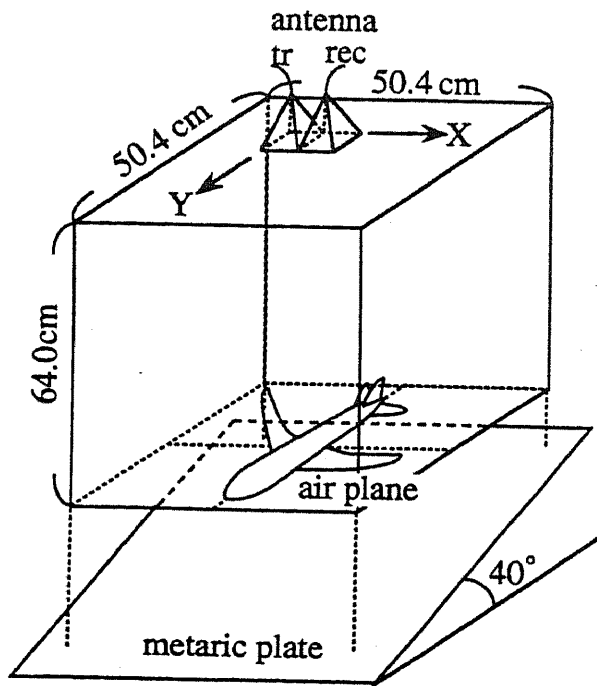


図 8. 測定状況

偏波はX方向をH偏波、Y方向をV偏波とし、測定は送信アンテナ、受信アンテナが、それぞれHH、VV、HV偏波の3つの状態で実験を行った。

まず、図9にHH偏波での実開口イメージを示す。これは、合成開口処理をする前の電力分布を示すが、この図からはまったく飛行機の形状は分からない。これに合成開口処理を施した電力イメージを図10に示す。これらの図は、受信電力が一番強い部分を1として正規化し、濃淡で表している。HH偏波では胴体よりも羽根の方が強く検出され、VV偏波では胴体の方が強く検出されているのが分かる。HV偏波では羽根の部分が主に検出され、胴体は検出されていない。また、HH偏波、VV偏波と比べると受信電力はかなり小さくなっている。

次に、これら3つの偏波の組合せであるSpanイメージを図11に示す。この図は、よりはっきりと

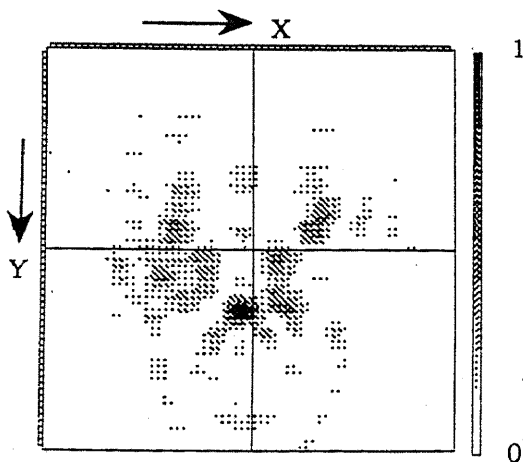
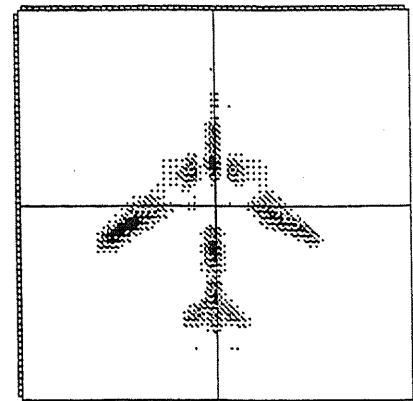
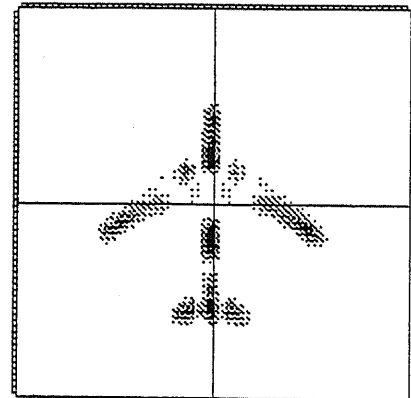


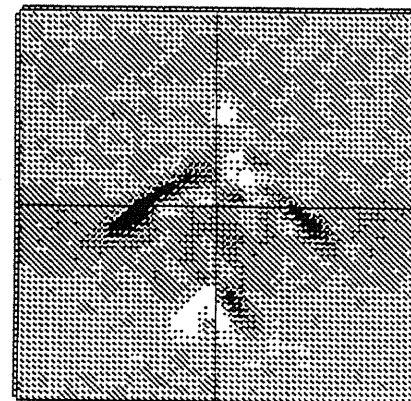
図 9. 実開口イメージ (HH 偏波)



(a) HH 偏波



(b) VV 偏波



(c) HV 偏波

図 10. 合成開口イメージ

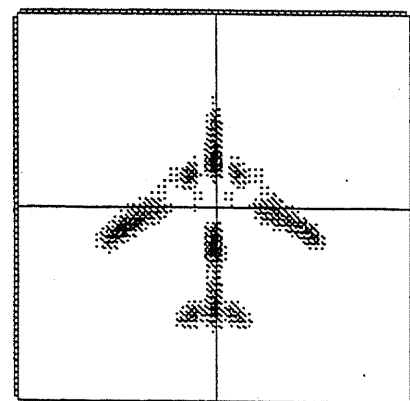
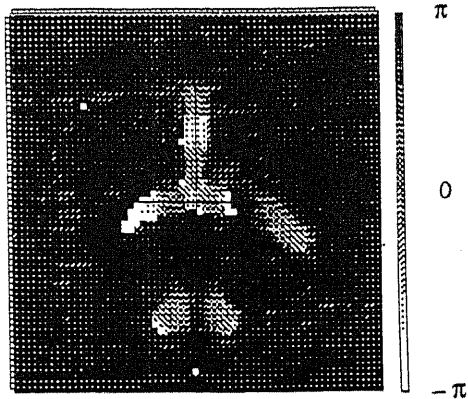
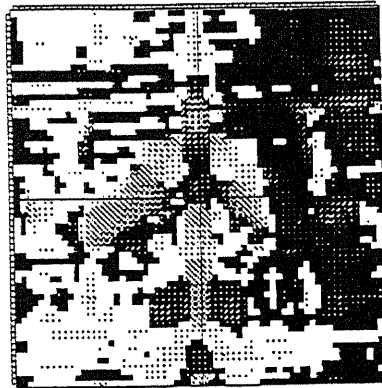


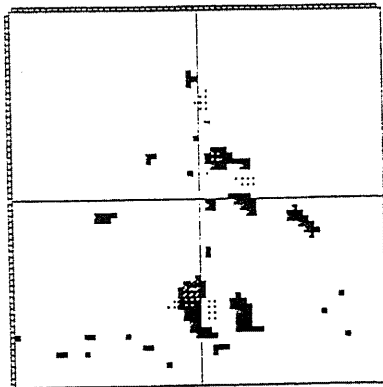
図 11. Span イメージ



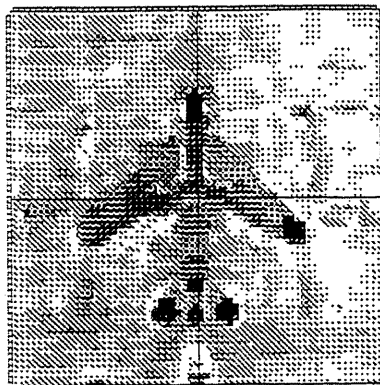
(a) HH偏波 (ϕ_{HH})



(b) VV偏波 (ϕ_{VV})



(c) HV偏波 (ϕ_{HV})



(d) 差分イメージ

図11. 位相情報によるイメージング

飛行機の形状がイメージングできている。

最後に、測定データの位相情報を用いてイメージングを行ったので、それを図12に示す。この図は $-\pi$ から π までの位相を濃淡によって表したものである。これらの図から、飛行機のエッジの部分での位相の変化が大きいことが分かる。(d)の差分イメージは $\frac{\phi_{HH} + \phi_{VV}}{2}$ で表すことが出来るが、飛行機の輪郭線においては電力イメージよりも鮮明にイメージングできている。

このように、位相情報からでも高精度なイメージングが出来ることが分かった。

4. まとめ

今回作った実験装置の最終的な目的は、物体のイメージングであったが、このように高精度にイメージングすることが出来た。また、この装置を作ったことによる最大の利点は、実験データの取得に関して、大量のデータを大きな手間をかけずに得られるようになったことが、一番であろう。

この報告では、実験で得られたデータのイメージングの結果のみを紹介してきたが、レーダポーラリメトリ、合成開口FM-CWレーダについての詳しい内容については、下記の文献を参照していただきたい。

参考文献

- [1] Yoshio Yamaguchi, et.al, "On radar polarimetry in FM-CW radar," Proc. of 1993 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp.368-370, 1993,
- [2] 西川 徹, 他 2 名, "ポーラリメトリック合成開口FM-CWレーダによる2次元イメージング," 電子情報通信学会技術研究報告SANE93-49, 平成5年10月
- [3] 二瓶浩之, 他 4 名, "2次元合成開口FM-CWレーダによるポーラリメトリックイメージング," 電子情報通信学会技術研究報告, A・P94-96, 平成7年1月