

空港滑走路上の落下物を 検知するレーダシステムの開発

河村暁子, ニッ森俊一, 米本成人
電子航法研究所

本発表の概要

- 空港滑走路に落下物とは？
- 本プロジェクトの全体像
- レーダ部
- アンテナ部
- まとめ

滑走路に落下物検出の必要性

2000/07/25 コンコルド墜落事故

16:39 DC10離陸。機体より42 x 3cm チタニウム片が落下。

16:42 コンコルド離陸。離陸時にチタニウム片でタイヤが破裂、
破片が燃料タンクを損傷。

→ コンコルド墜落

現状：

1日1回、空港職員が目視による滑走路パトロール
パイロットから落下物の報告があれば随時調査



仏運輸省事故調査局報告書より

約10cm程度の落下物を検出できるセンサが求められている

| 各種 センサ | 寸法 | 距離測定 | 精度 | 感度 | 朝夕 | 夜間 | 霧 | 雨 | 価格 | 備考 |
|------------|----|-------------|-------------|----|----|----|---|---|----|-------------------------|
| カメラ | ◎ | × | - | ◎ | ○ | × | × | △ | ○ | 費用対効果が高い。 |
| 赤外線 カメラ | ◎ | × | - | - | × | ○ | △ | △ | △ | 感度は温度差に依存。 早朝、夕方に不能 |
| レーザ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | △ | × | × | 悪天候に弱い。 |
| 既存 レーダ | △ | ◎ | × | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | 波長より小さいもの、 非金属は検出困難。 |
| ミリ波 レーダ | ◎ | ○ ↓ ◎ | △ ↓ ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | △ | × | ↓は今回の開発目標 |

本プロジェクトの完成予想図

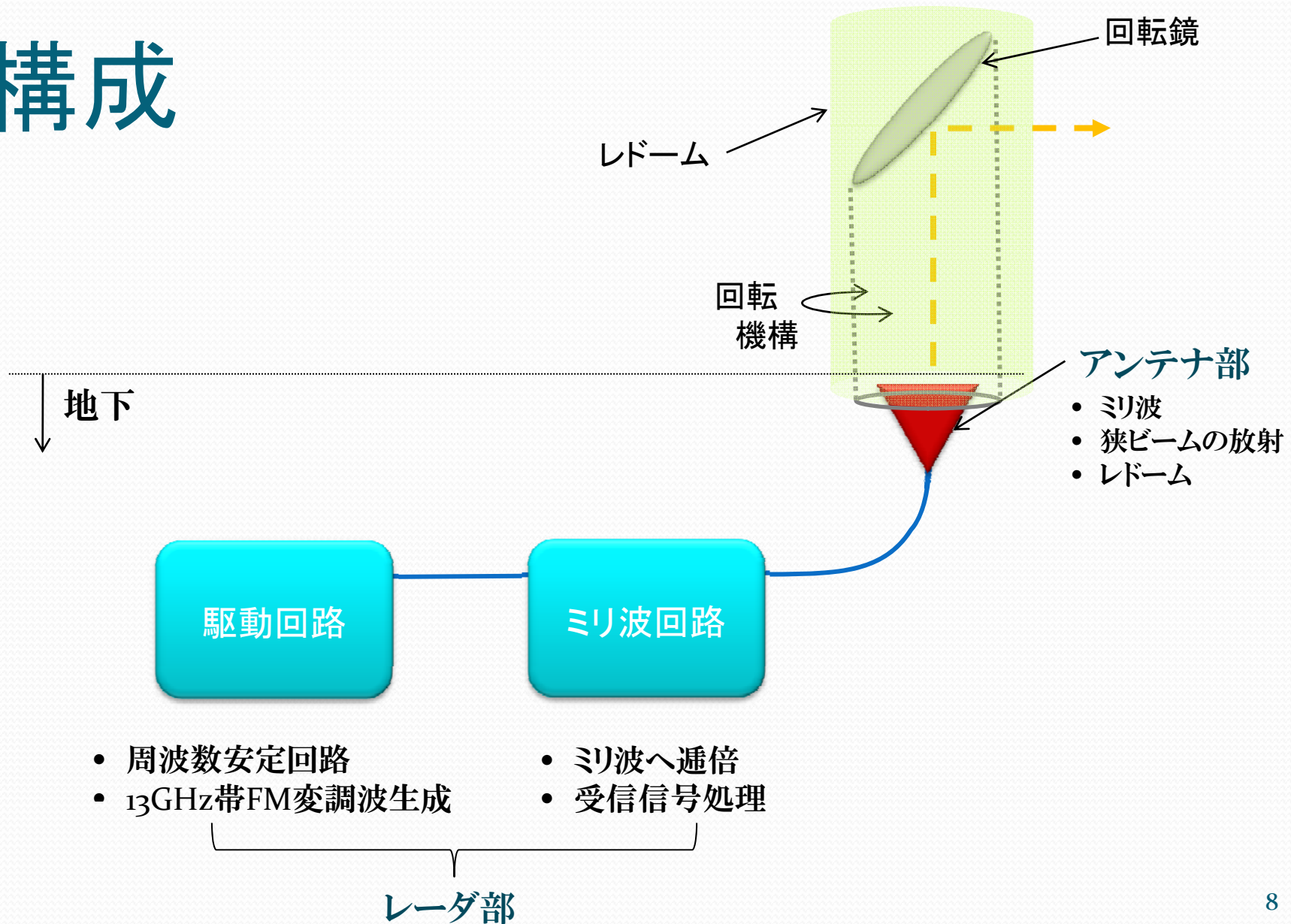


- 小型ミリ波レーダ
- 次期自動車レーダ用特定小電力局
(76 - 81 GHz, 出力 10 dBm)
(現在: 76.25 - 76.75 GHz, 10 dBm)
- 低出力レーダを滑走路脇に複数設置
- 機械式ビームスキャン
- 高価な回路部は地下へ, 安価なビーム反射機構およびレドームのみ地上へ

目標とする仕様

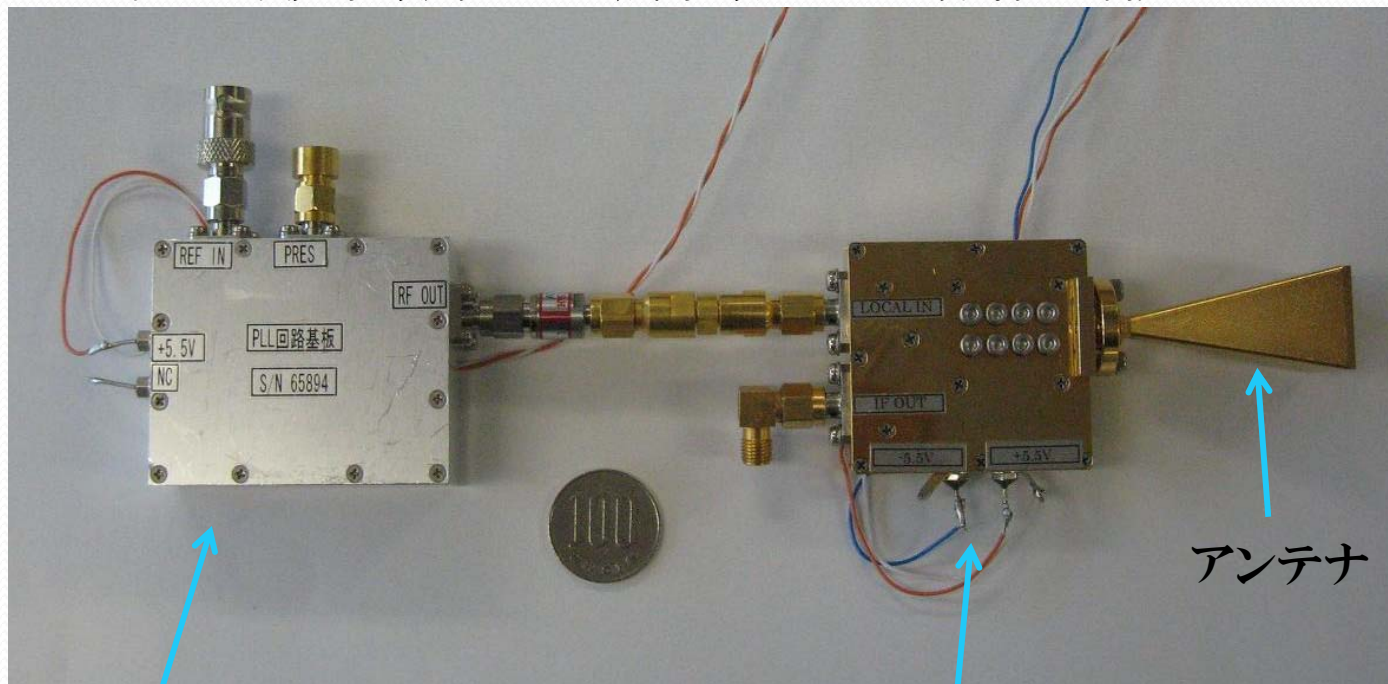
- **小型**
無線回路はマッチ箱程度に
導波管ではなくマイクロストリップ線路使用,ミリ波帯
FM-CWレーダ方式
- **高い分解能**
約10 cmの金属片を検出したい→ミリ波
距離分解能→広い周波数掃引
- **電波法への適合(次期自動車レーダ用カテゴリ)**
 - 周波数: 76 – 81 GHz
 - 出力: 10 dBm(10 mW)

構成



レーダ部

低コスト狭帯域用VCOで広帯域にわたる掃引が可能か？

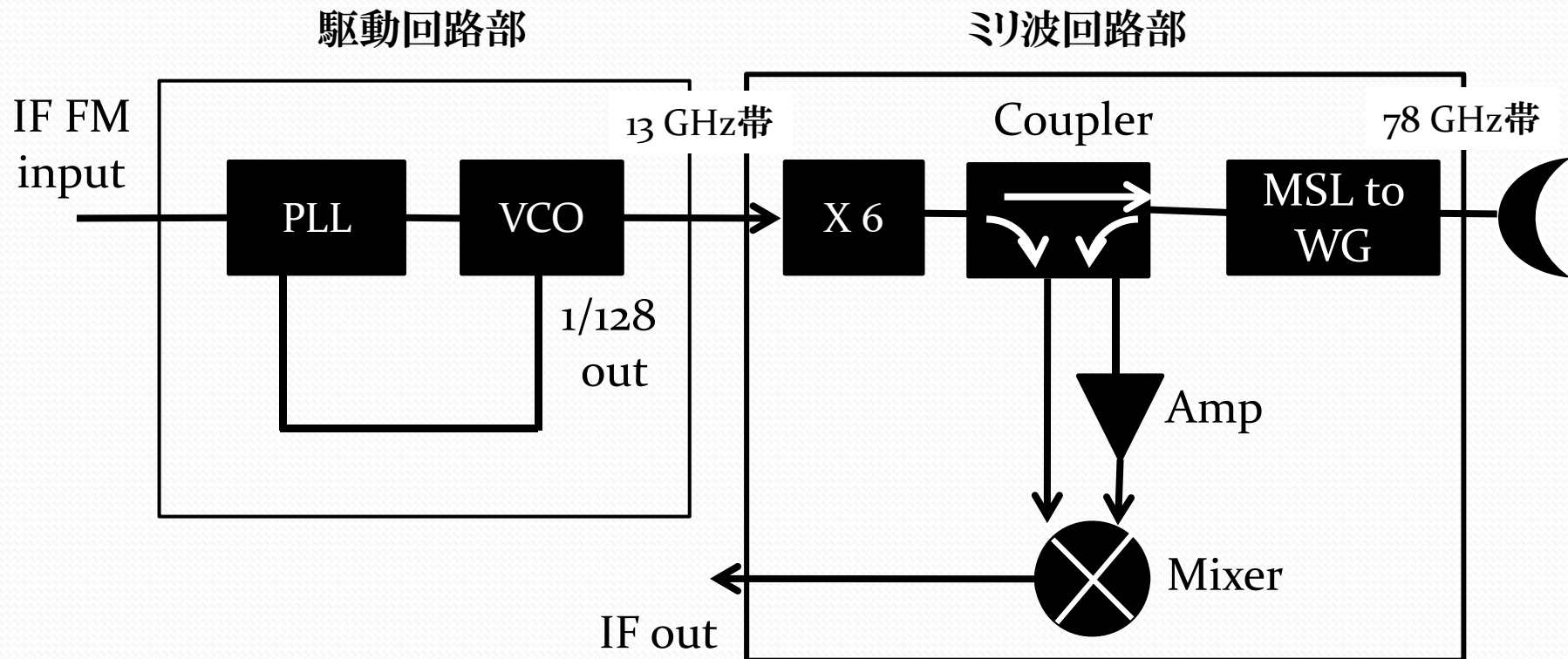


駆動回路部
(VCO, PLLを含み, 参照波をもとに
13 GHz帯の三角波を発生)

ミリ波回路部
(76~81 GHzのレーダ信号放射
および受信, ミキサを経て
IF信号を出力)

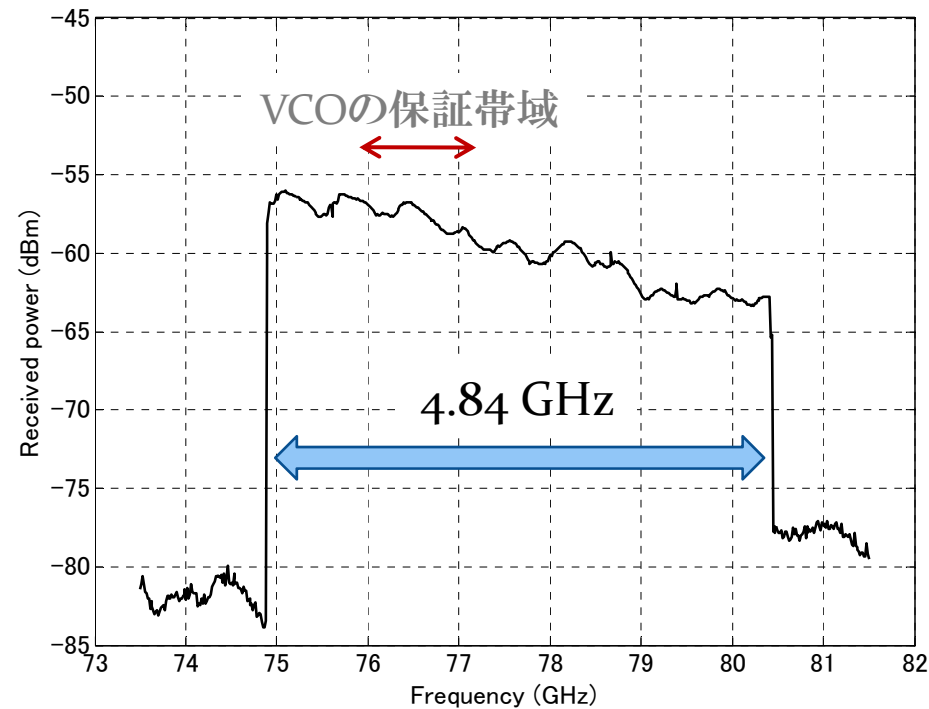
VCO: 電圧制御発振器, PLL: 位相同期回路, IF: 中間周波

レーダ回路



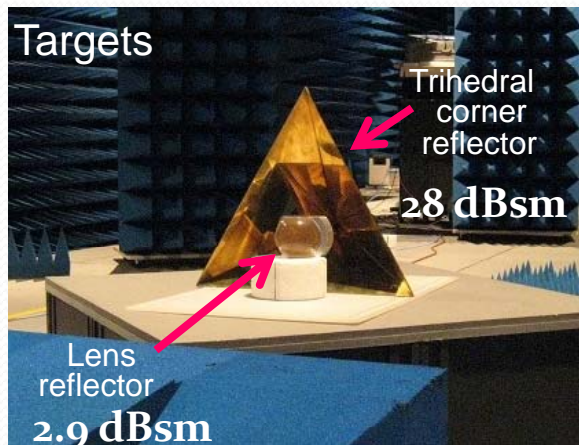
VCO: 電圧制御発振器, PLL: 位相同期回路, IF: 中間周波, MSL: マイクロストリップライン, WG: 導波管

広帯域送信信号



Bandwidth : 4.84 GHz (75.57 – 80.41 GHz)
Output power : 8.72 dBm (at 76 GHz)

近接した物体の検出

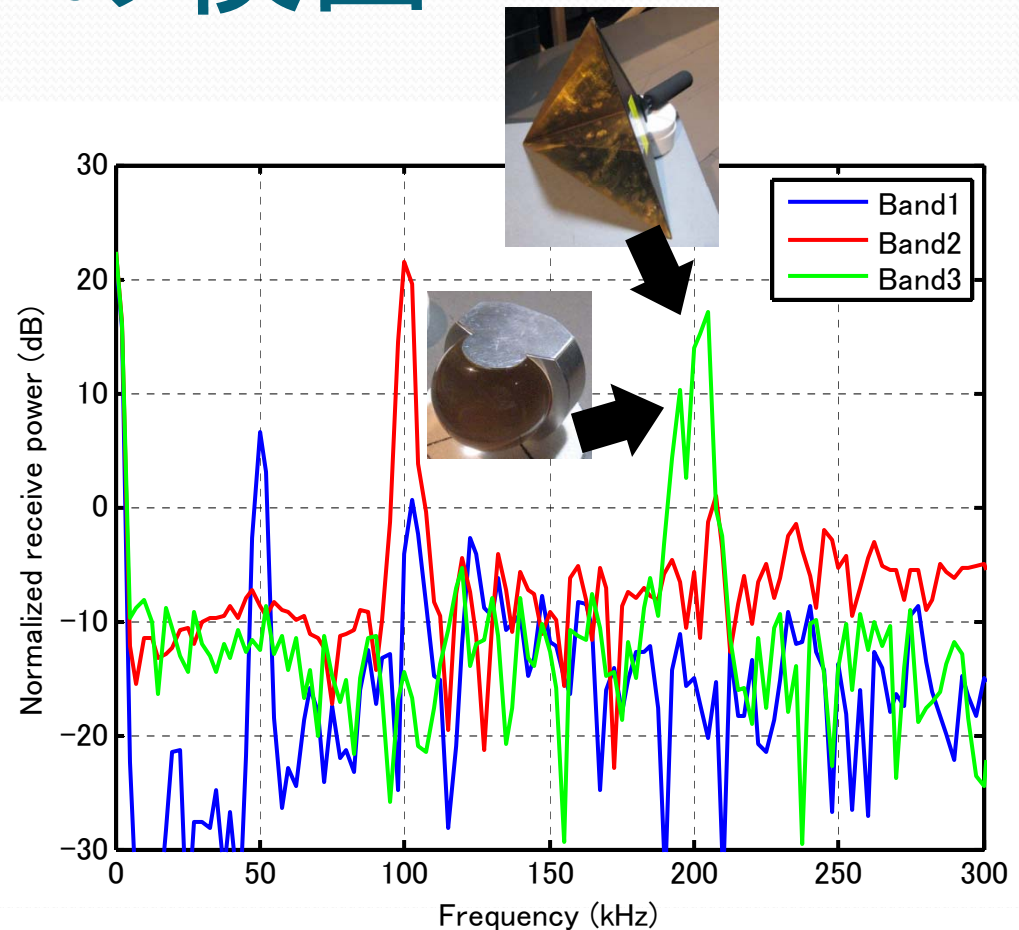


距離 6 m, 物体間 15 cm

Band1 : 1.20 GHz

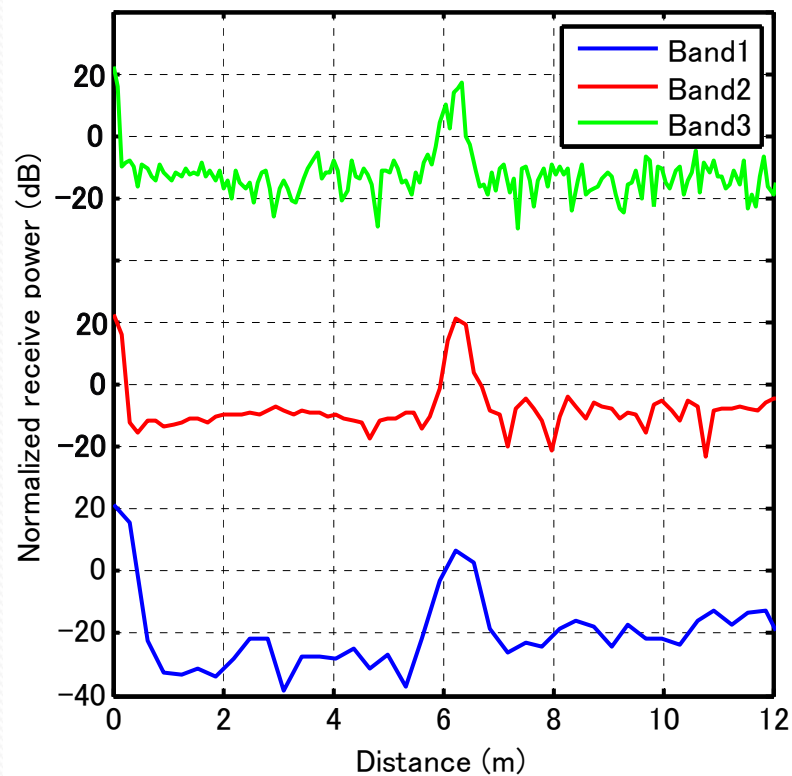
Band2: 2.40 GHz

Band3: 4.84 GHz (最大)



バンド幅4.84 GHz使えば反射の大きい物体に近接した小さい物体も検出可能

試作したレーダの分解能

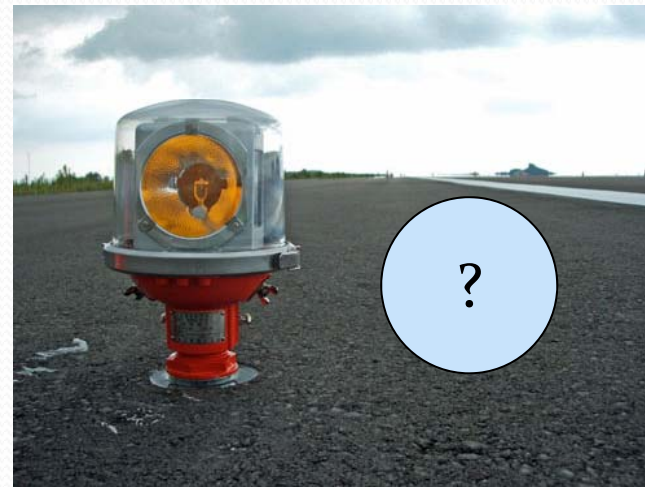


| | Band1 | Band2 | Band3 |
|-----------------------------|-------|-------|--------------|
| BW (GHz) | 1.20 | 2.40 | 4.84 |
| Theoretical ΔR (cm) | 11.1 | 5.5 | 2.7 |
| Measured ΔR (cm) | 46.3 | 23.8 | 6.8 (Min) |

レーダの広帯域化により最小6.8 cmの分解能を達成

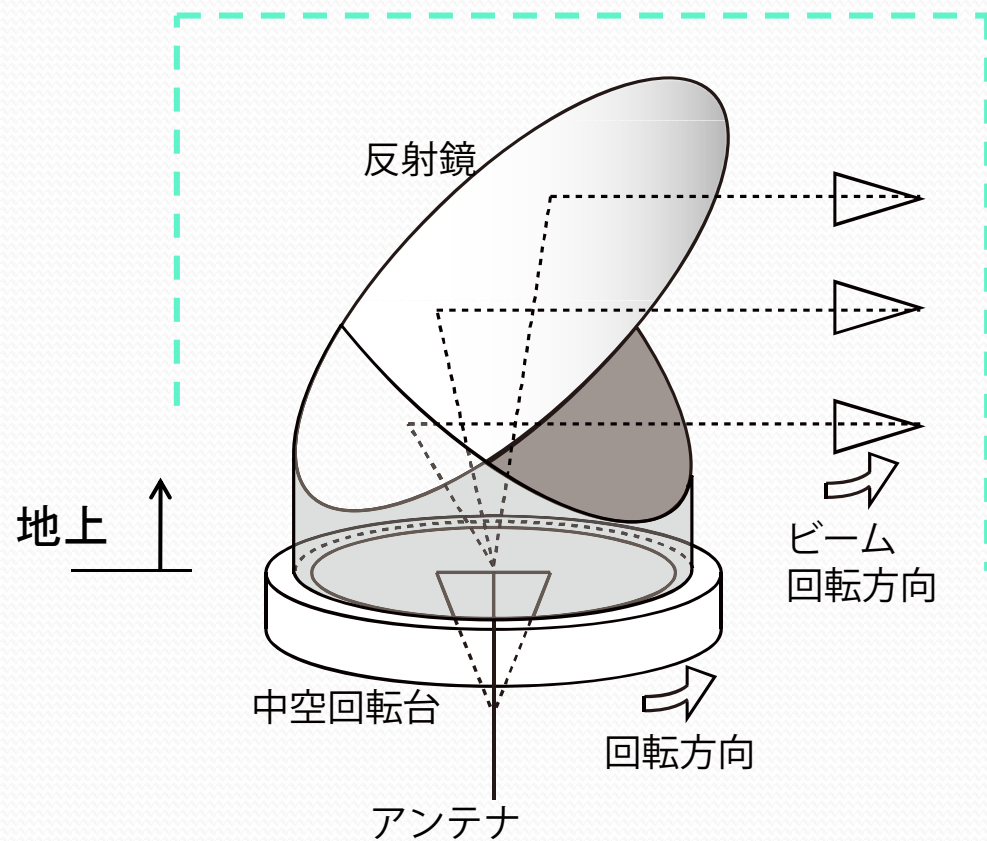
レーダ部 まとめ

- ✓ 市販のVCOを用いて4.84 GHz 掃引できる広帯域レーダを作製
- ✓ ひずみなどあるが，大RCS物体に近接した小RCS物体も検出可能
- ✓ 最小分解能6.8 cm を達成



RCS(Radar cross section: レーダ反射断面積)

アンテナ部



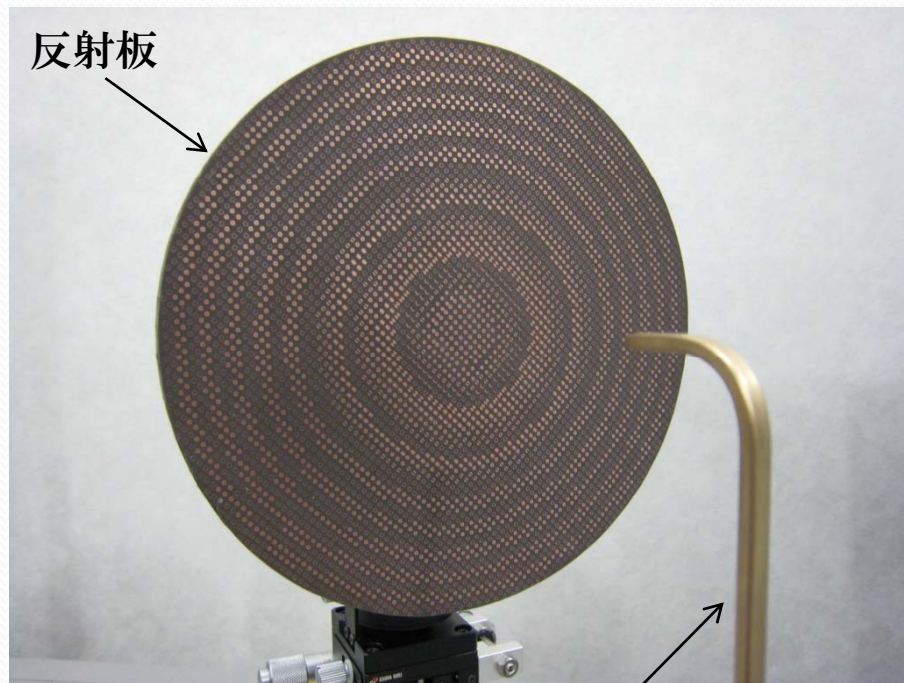
- アンテナは1次放射器と反射鏡で構成
- 反射鏡が回転し、ビーム走査
- 地上に出る回転部をすべてレドームで覆う

レーダ用アンテナ

空港滑走路に落下物検出用レーダのアンテナに求められる特性

- 高い利得
40dBiまでは特定小電力無線局扱い
レーダの低出力を補う
- 広帯域
周波数 76 ~ 81 GHz で動作
- 高い開口面効率
コンパクトで高利得
- 円偏波
角度に依存せず物体を検出

プリント型フレネル反射板アンテナ



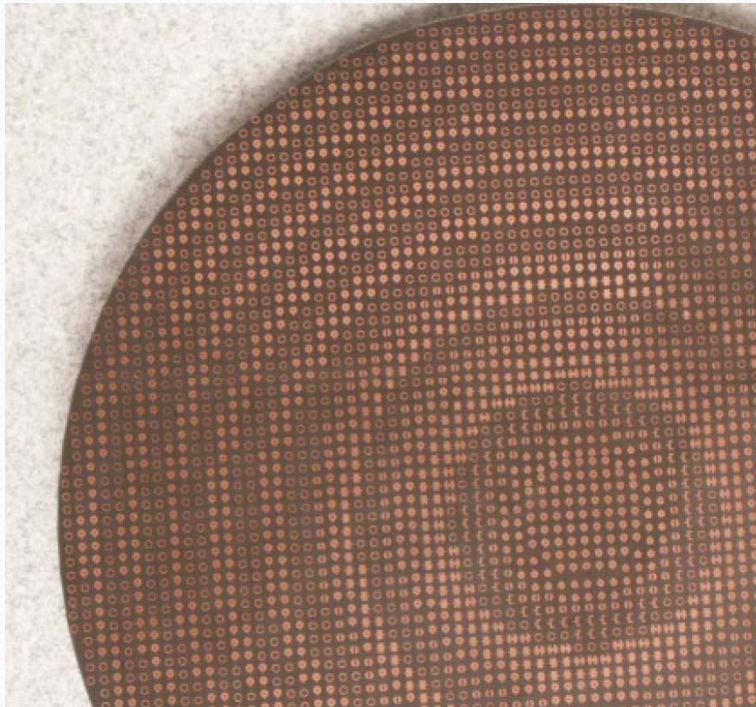
1次放射器
(切り離し導波管)

プリント基板上にパッチアレイを
同心円状に構成

- フレネルレンズ効果
集光効果による鋭い指向性
高利得, 高開口率
- パッチ形状で移相量を調整
1次放射器の直線偏波を
円偏波へ変換
- 小型, 軽量, 低コスト

パッチ形状, 配置

78.5GHz におけるパッチ単体特性

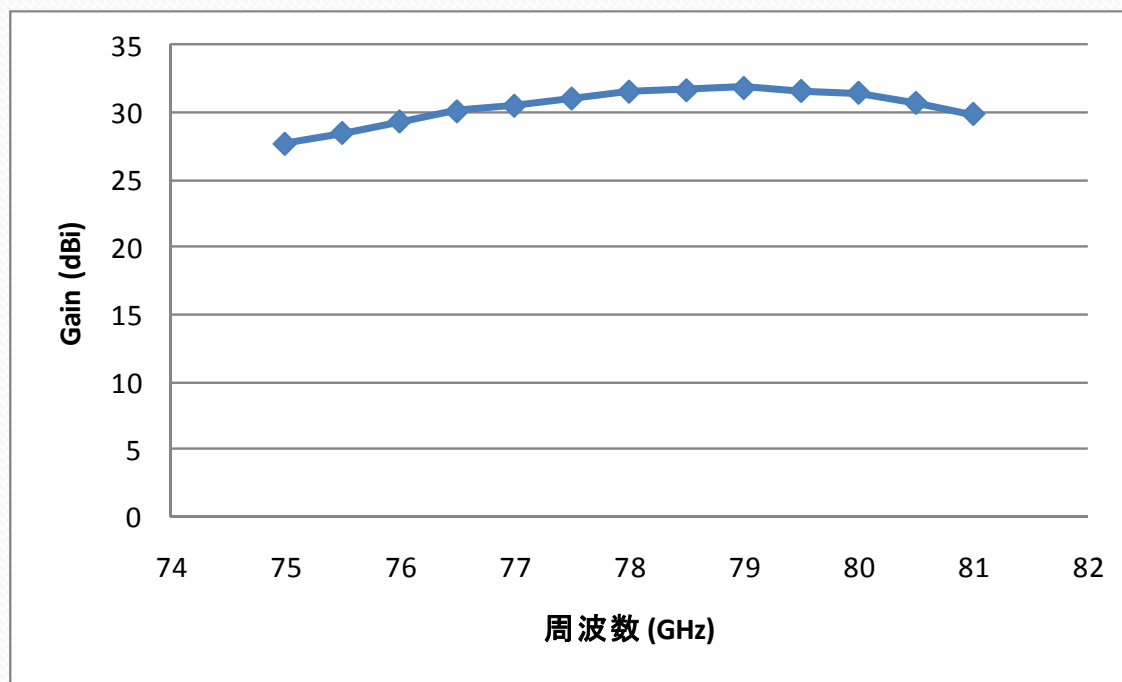


反射板直径150 mm
誘電体厚0.508mm (裏面は金属)

| Zone | Patches | Phase | | | Characteristics | |
|-------------------|---------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|
| | | φ_x in $^\circ$ | φ_y in $^\circ$ | $\Delta\varphi$ in $^\circ$ | $\Delta\varphi$ in $^\circ$ | A.R in dB |
| 0 $^\circ$ zone | | 0 | 89 | 89 | 89 | 0.6 |
| 45 $^\circ$ zone | | 42 | 131 | 89 | 89 | 0.14 |
| 90 $^\circ$ zone | | 90 | 178 | 88 | 93.1 | 0.47 |
| 135 $^\circ$ zone | | 131 | 220.7 | 89.7 | 90.47 | 0.07 |
| 180 $^\circ$ zone | | 179 | 268.4 | 89.4 | 88.1 | 0.33 |
| 225 $^\circ$ zone | | 225 | 316.1 | 91.1 | 90.7 | 0.22 |
| 270 $^\circ$ zone | | 271 | 358.4 | 87.4 | 88.7 | 0.41 |
| 315 $^\circ$ zone | | 314 | 402.8 | 88.8 | 86.1 | 0.6 |

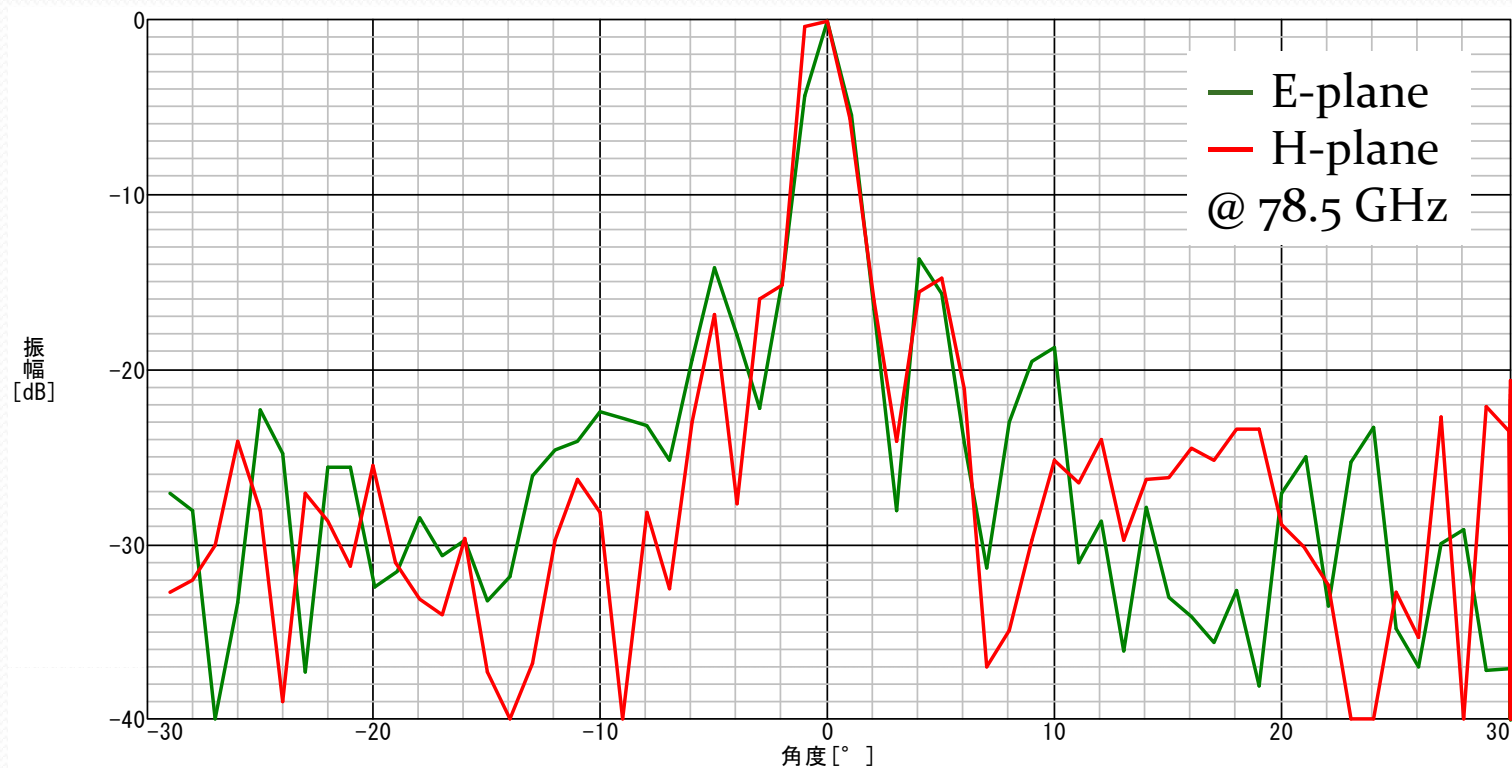
A.R: 軸比

アンテナ利得



76 - 81 GHz で概ね 28 dBi以上の利得
開口面効率: 最大10 % (at 79 GHz)

アンテナの放射パターン



半値幅: 1.7 deg.
サイドローブ: -14 dB

ミリ波用レドーム

- アンテナ・レーダ回路を
雨, 風, 埃などから保護
- ある程度の強度が求められる
ただし航空機に当たれば壊れること
- ミリ波帯電磁波の伝搬に影響しないこと
波長約4 mm
従来よく使われているGFRPは散乱あり

エフレタン製レドームの使用を提案



GFRP: Glass Fiber Reinforced Plastics
ガラス繊維強化複合材料

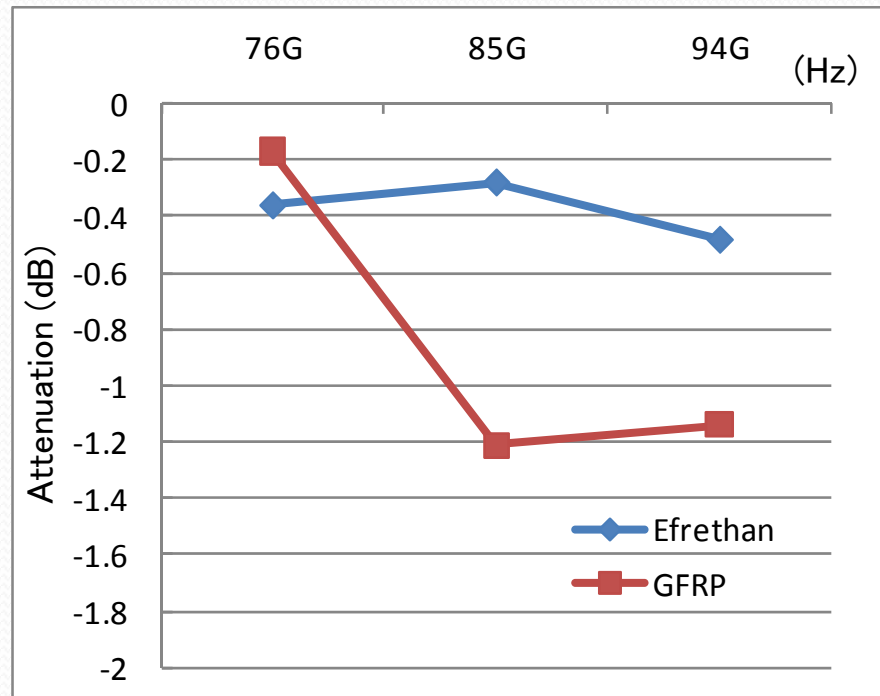
エフレタン



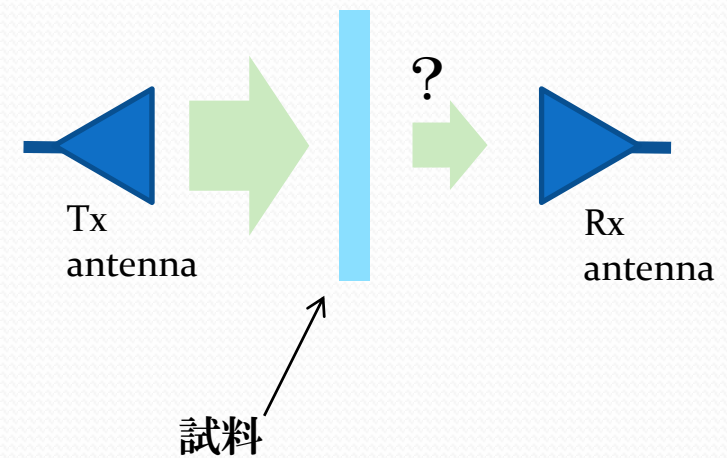
エフレタン吹き付け塗装の様子

- ウレタン樹脂
- 発泡スチロールに塗装
- 塗膜は耐衝撃性, 防水・耐久性に優れる
- GFRPに比べ低コスト
- 比誘電率 3.8
- 応用分野
建築土木材, 保温保冷容器,
海洋湖沼河川用浮力材(浮き棧橋),
美術工芸品など

レドームの透過率

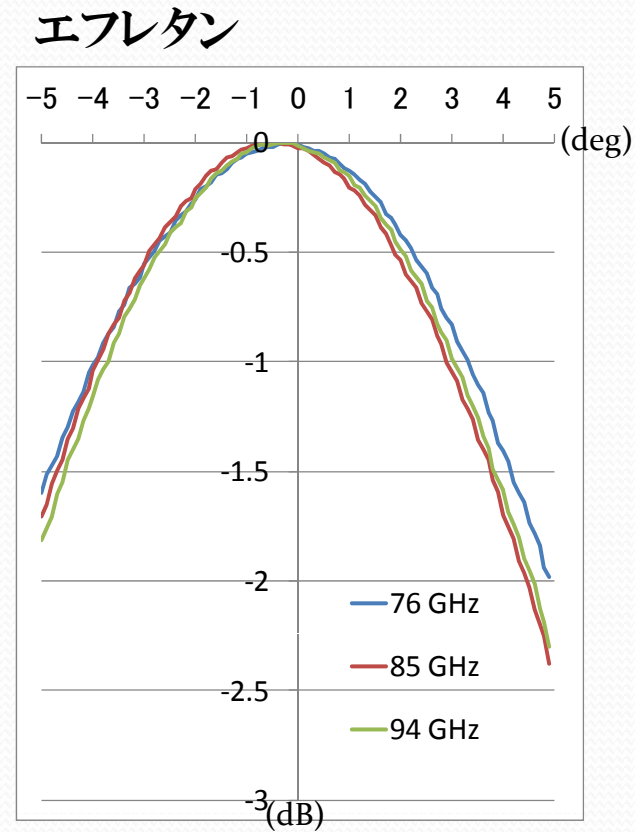
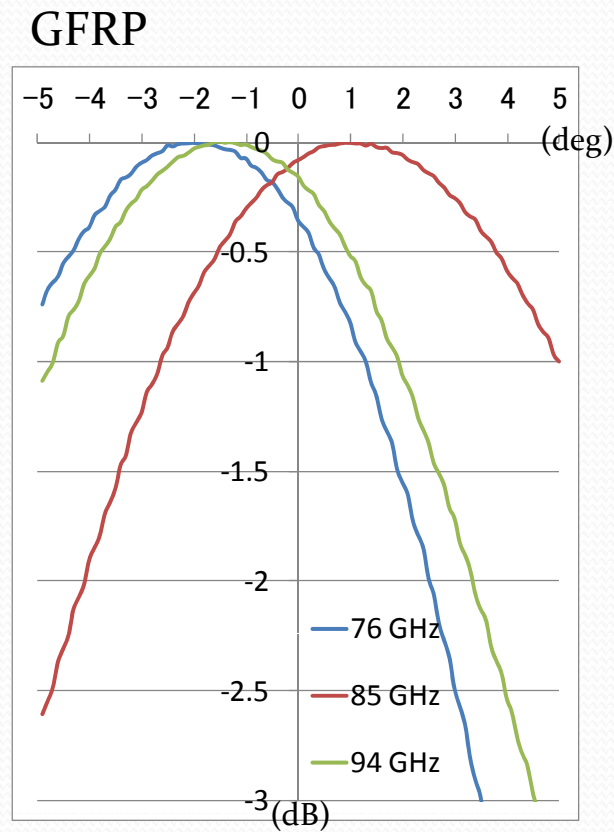


試料があることによって生じる減衰量を測定(理想は0 dB)



エフレタンはGFRPに比べ損失が少ない(透過率が高い)

レドーム材料の周波数依存性



エフレタンならば、ビームの曲がりがおきにくい

アンテナ部まとめ

フレネル反射板アンテナ
ミリ波用レドーム を開発

小型・軽量・低コスト
アンテナ 利得 31.8 dBi, 開口面効率 10 %



さらなる改良が必要

参考: 同タイプの94GHz直線偏波アンテナ
利得 38 dBi, 開口面効率 29%



まとめ

空港滑走路上の落下物検出用ミリ波レーダシステムについて紹介

- ✓ レーダ部
 - 汎用VCOで4.8 GHz帯の掃引に成功
 - 分解能 6.8 cm 達成
- ✓ アンテナ部
 - 小型軽量なフレネル反射板円偏波アンテナを開発
 - 利得向上のためさらなる改良が必要
 - ミリ波アンテナ用低損失レドームを開発

今後の課題

レーダ部

- 無線局免許の取得
- 最大レンジの測定

アンテナ部

- アンテナ利得向上の検討

- レーダビームの回転機構部の開発
- データ表示ソフトウェアなどの開発
- 全体の接続試験