

# 空港面異物監視システムの 異物検知性能評価

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 (MPAT)

電子航法研究所 (ENRI)

監視通信領域

米本 成人、河村暁子、ニッ森俊一、森岡和行

# 概要

- 空港面異物監視システムの概要
- リニアセルレーダーシステム
- 高感度カメラ
- ハイブリッドセンサーシステム  
— 成田空港における予備試験と結果
- まとめ

# 空港面異物監視システム開発の背景 -コンコルドの事故（パリ、2000年）-

- チタン製金属片（42cm x 3cm）
  - 直前に離陸したDC10より脱落
  - 燃料タンクに穴
  - 墜落



→空港面の安全性を向上するため、異物（FOD）検出が必要



# 空港の安全、および効率的運用

- 日常の定期検査：1日2回.
- 様々な障害発生により臨時点検
- 発生した障害の98.5%で異物は未発見



- 滑走路閉鎖により実運用時間の減少



- FODの有無の確認（常時監視）
- 効率的な空港運用には障害発生後の臨時点検の迅速化が必要

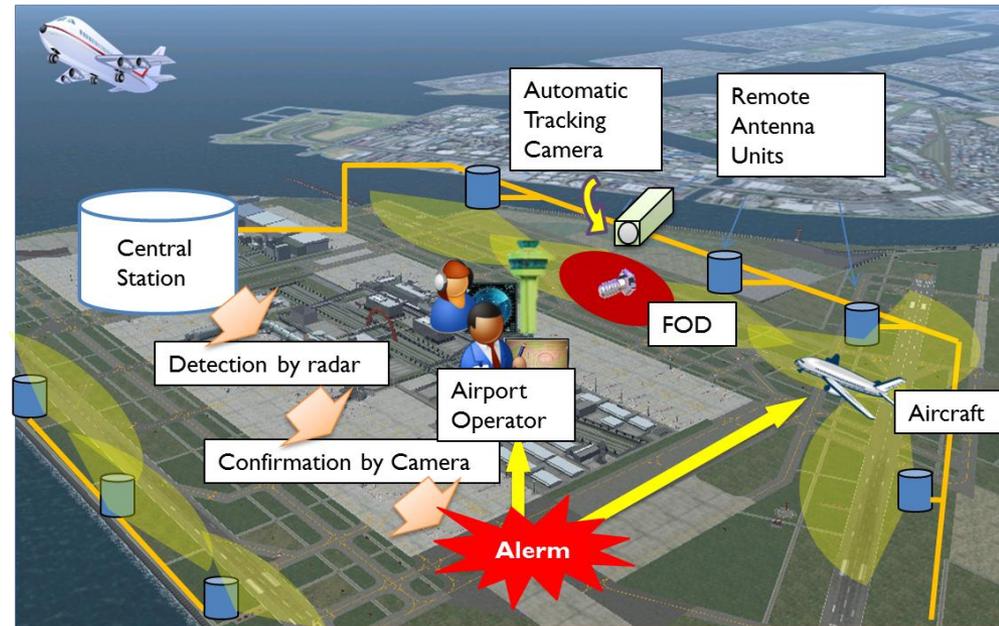
2015年4月~12月における  
羽田空港の滑走路閉鎖の統計値

障害	滑走路閉鎖	異物検出	滑走路閉鎖時間(分)
鳥衝突	395	3	3221
異物	37	0	420
オイル漏れ	10	5	440
緊急着陸	4	2	25
路面異常	3	2	189
その他	17	2	217
計	466	14	4512

2016年12月21日CARATS情報管理WG資料3より抜粋

# 研究の目標

- 小さな金属片を検出できる滑走路異物検出システムの開発
  - 微小金属片（1インチ程度）の検出
  - 滑走路状態の表示
  - 24時間/365日、あらゆる天候下での運用
  - 空港の設置基準、様々な制約への対応



# FOD検出システムの特長

性能要件	Tarsier	iFerret	FODetect	FOD finder	我々の目標
センサー方式	レーダー	カメラ	ハイブリッド	レーダー	ハイブリッド
設置場所	滑走路付近	滑走路付近	滑走路脇	車上	滑走路付近
センサーの数	2基/滑走路	8~10基/滑走路	30~50基/滑走路	1基/台	8-12基/滑走路
常時監視	○	○	○	×	○
更新頻度	×	×	×	×	10秒以内
FOD撮影	△	○	○	×	○
冗長性	×	×	○	×	○
設置コスト	×	△	×	○	△→○

# 空港面異物監視システムへの要望

空港運用者の要望



Towards 2020



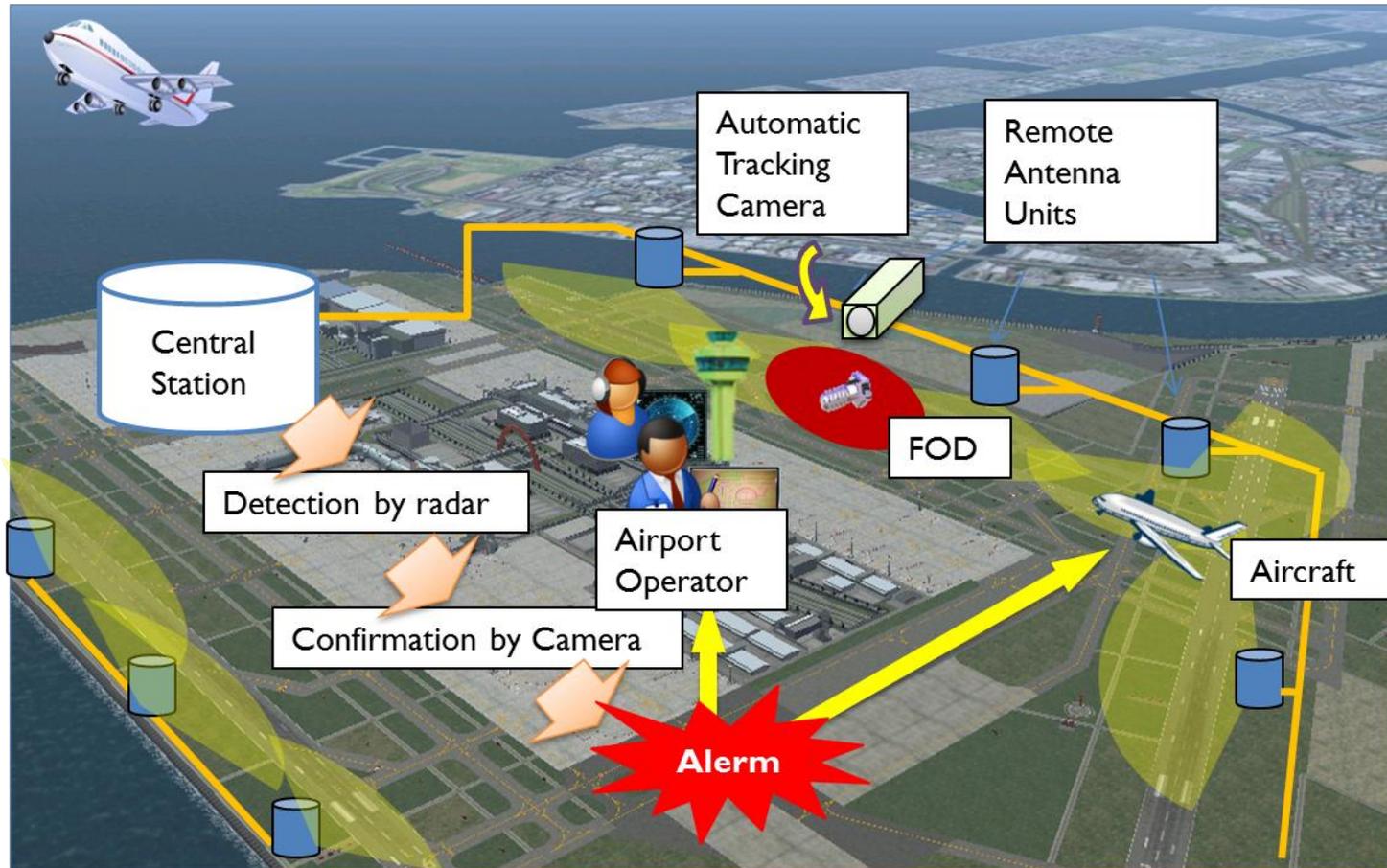
Late 2000s



Early 2000s

異物検出から滑走路FOD管理へ

# 滑走路異物監視システムの概要



- レーダーと高感度カメラにより異物の状況を迅速に把握し、効率的な空港運用をサポート

# リニアセルレーダー ( ネットワーク型レーダー )

- 一つのレーダーは数百m程度しかカバーできない。
- 監視範囲を広げるため、多数の遠隔アンテナが必要
- 将来的な監視範囲の拡張やシステムの高度化に対応

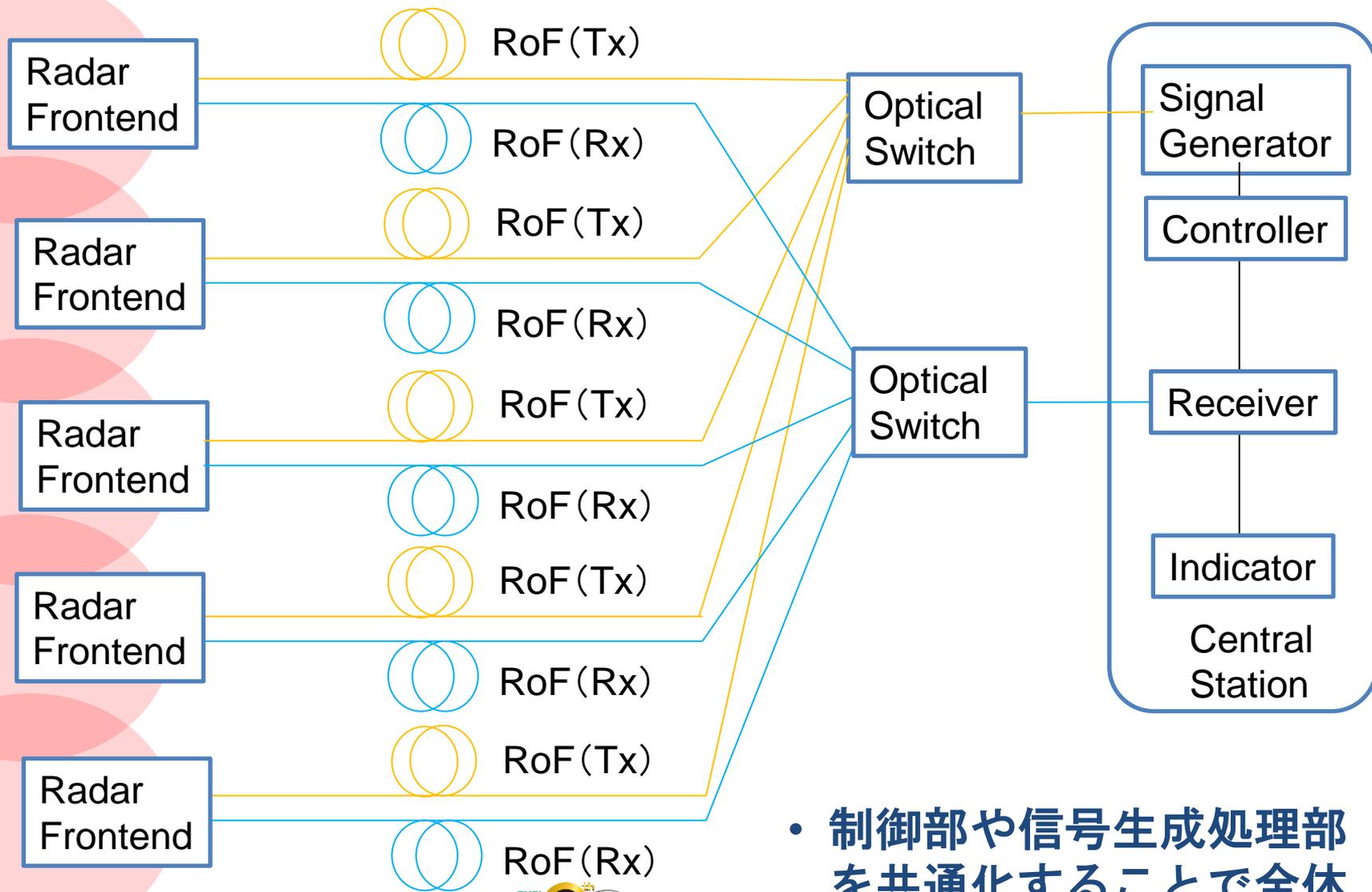


- ネットワーク型レーダーシステムの提案  
→リニアセルレーダーシステム ( 一列に並んだレーダー )



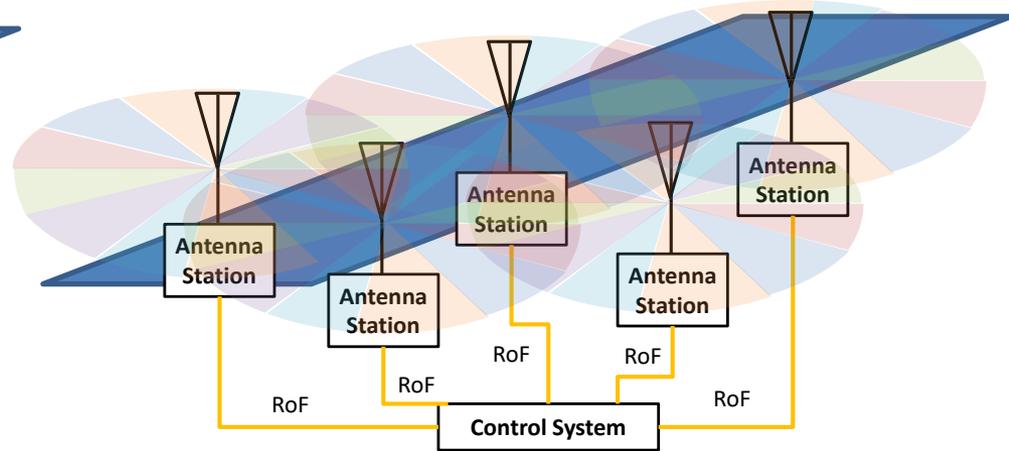
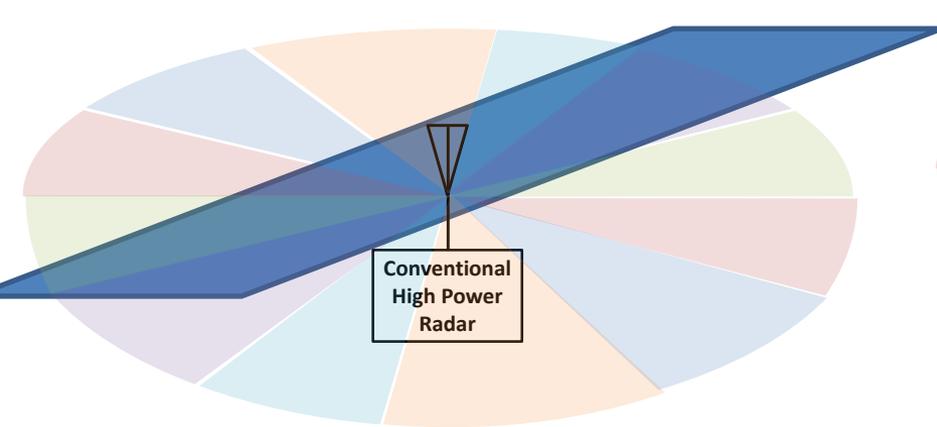
- 中央装置で多数のレーダーシステムと送受信  
→アナログ信号伝送が有利  
→ファイバー無線(RoF)を利用したミリ波レーダーシステムを構築

# リニアセルレーダーシステムの概要



- 制御部や信号生成処理部を共通化することで全体として低コスト化

# リニアセルレーダーの特長

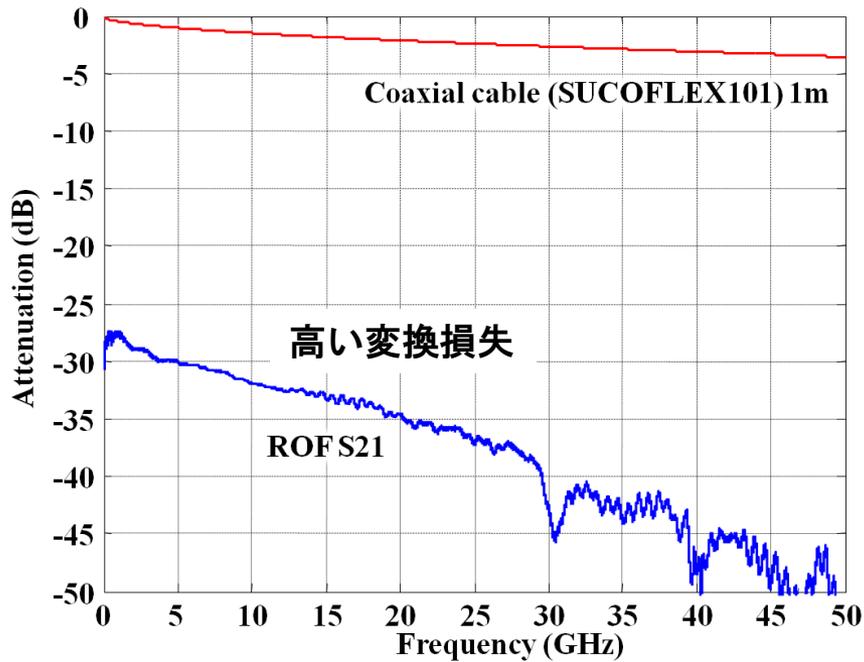


- 低いアジマス制度
- 高い消費電力
- 周波数再利用が困難

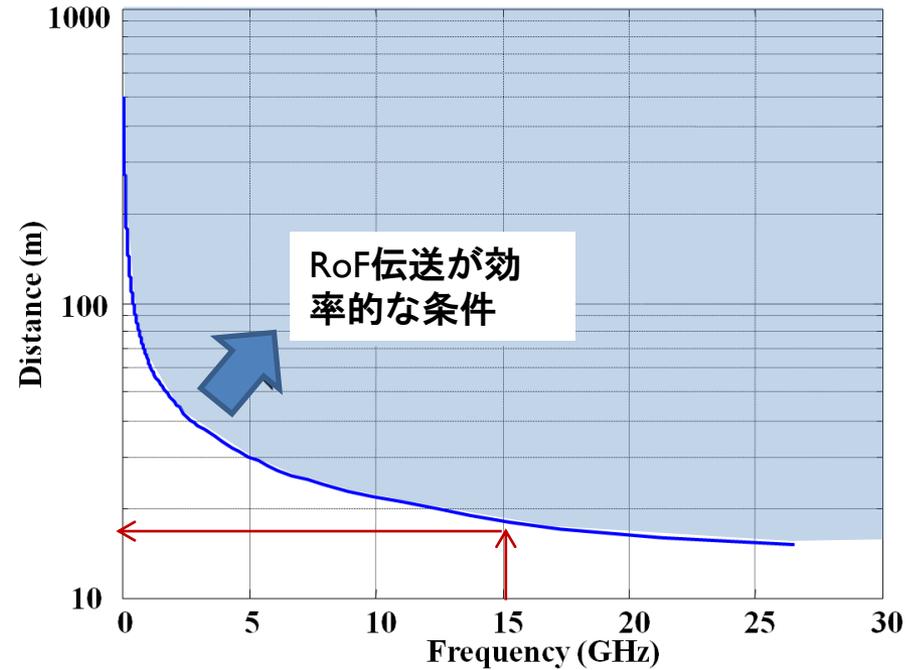
- 比較的良いアジマス精度
- 低い消費電力
- 周波数再利用が容易

# RoFの信号伝送特性

## RoFと同軸ケーブルの伝送損失(1m)

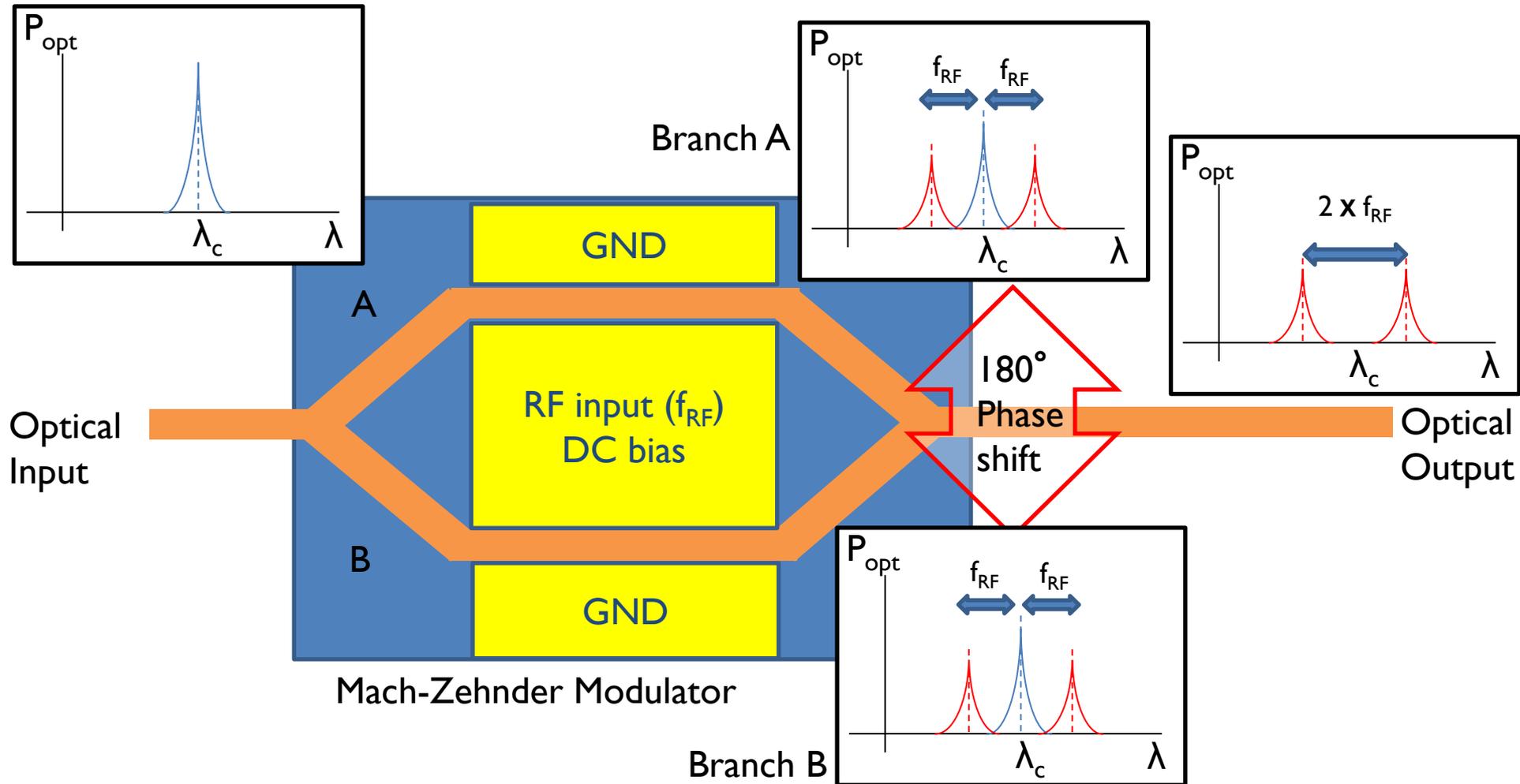


## RoF伝送が優位な条件



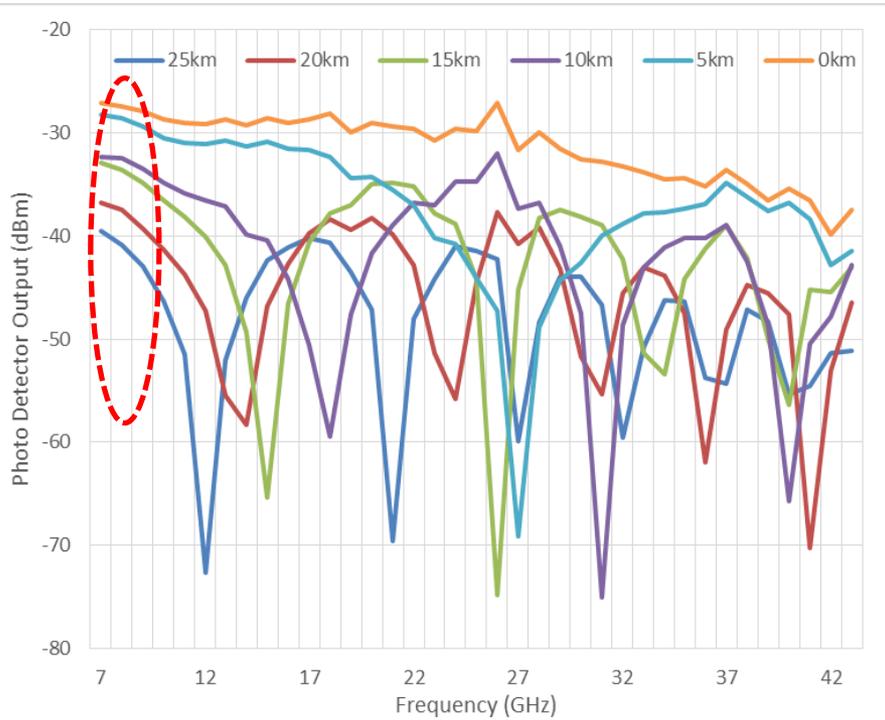
**高周波、長距離伝送ではRoFが有利**

# 光2トーン伝送

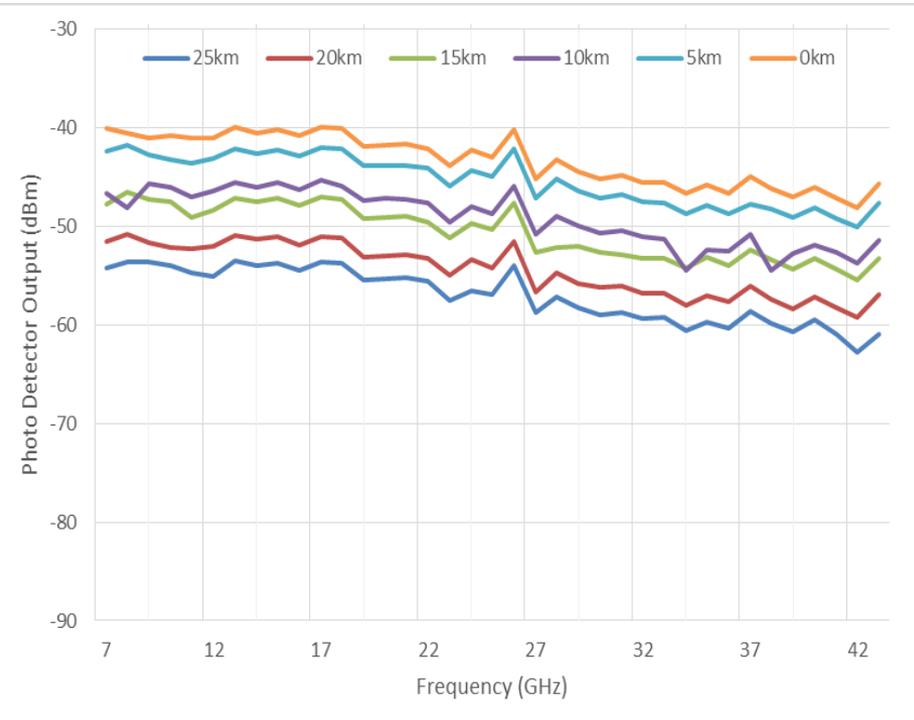


RoFを通過することで無線周波数が2倍

# ファイバー分散の影響



通常のRoF



光2トーン伝送

- 光2トーン伝送でファイバー分散の影響を除去

# FODDSの外観



光入出力

中央装置

レーダー表示器

カメラ表示器

遠隔カメラ  
制御器

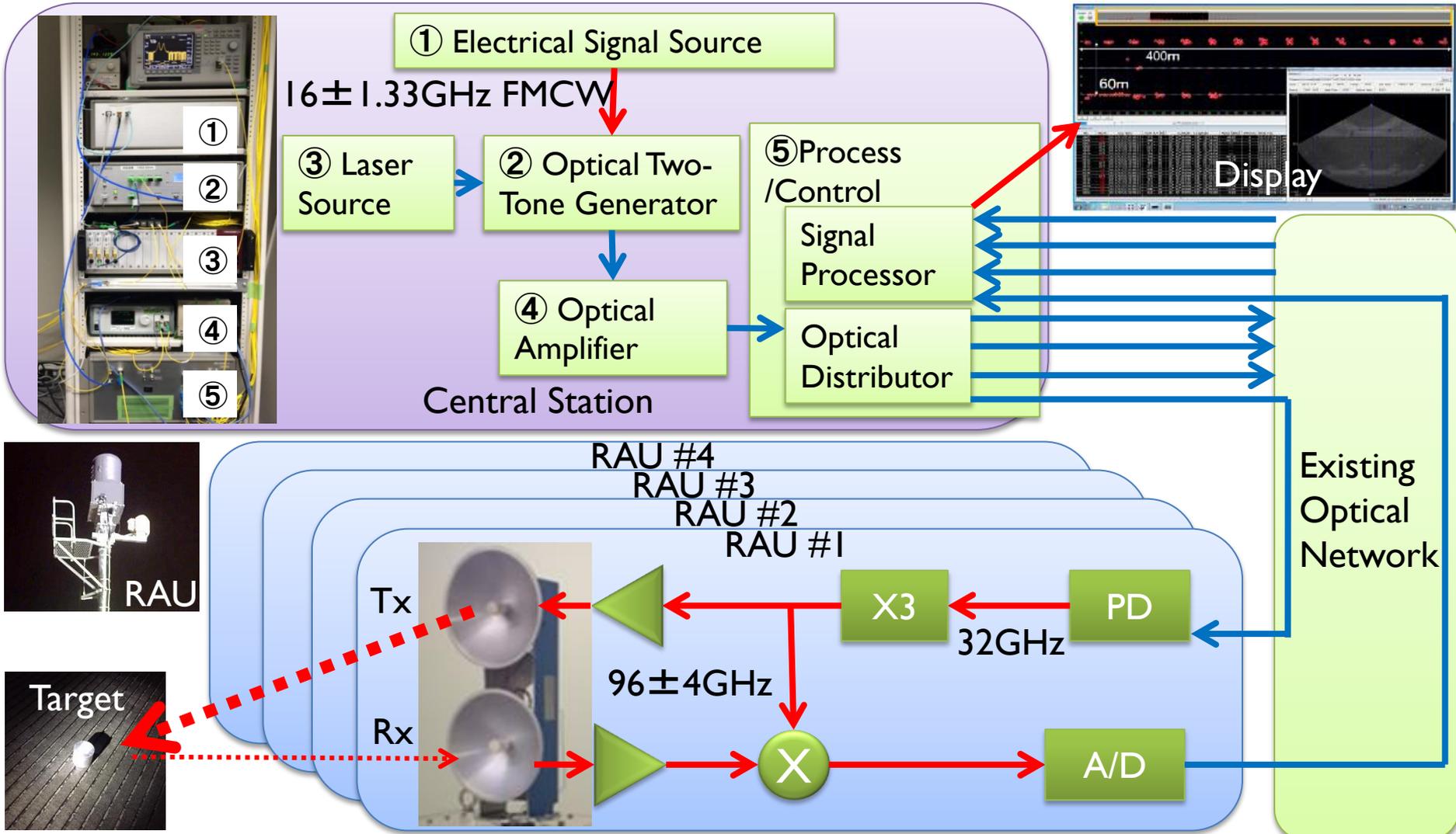
内部構造

アンテナと  
無線回路

無線回路

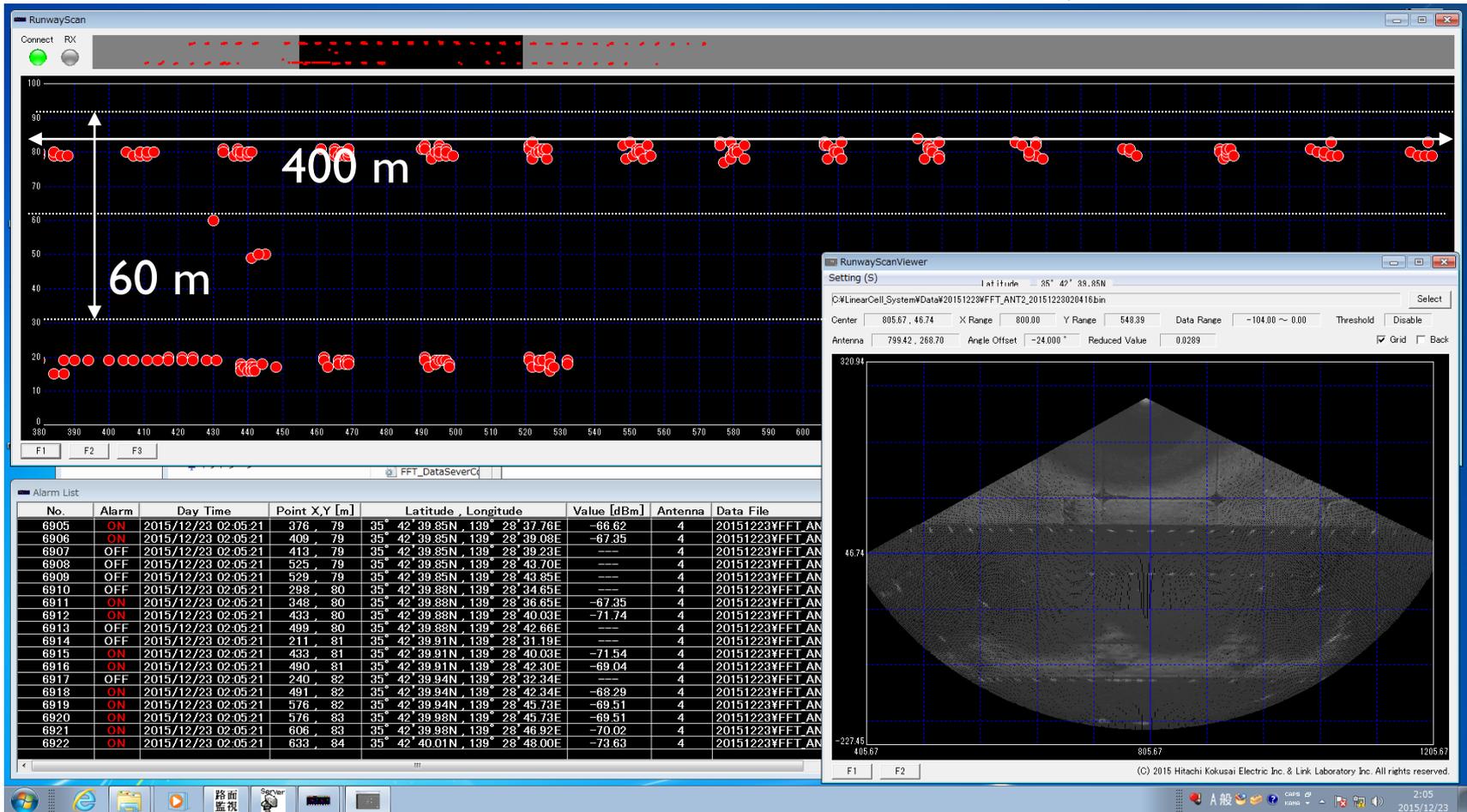
路面装置(RAU)

# リニアセルレーダーの構造



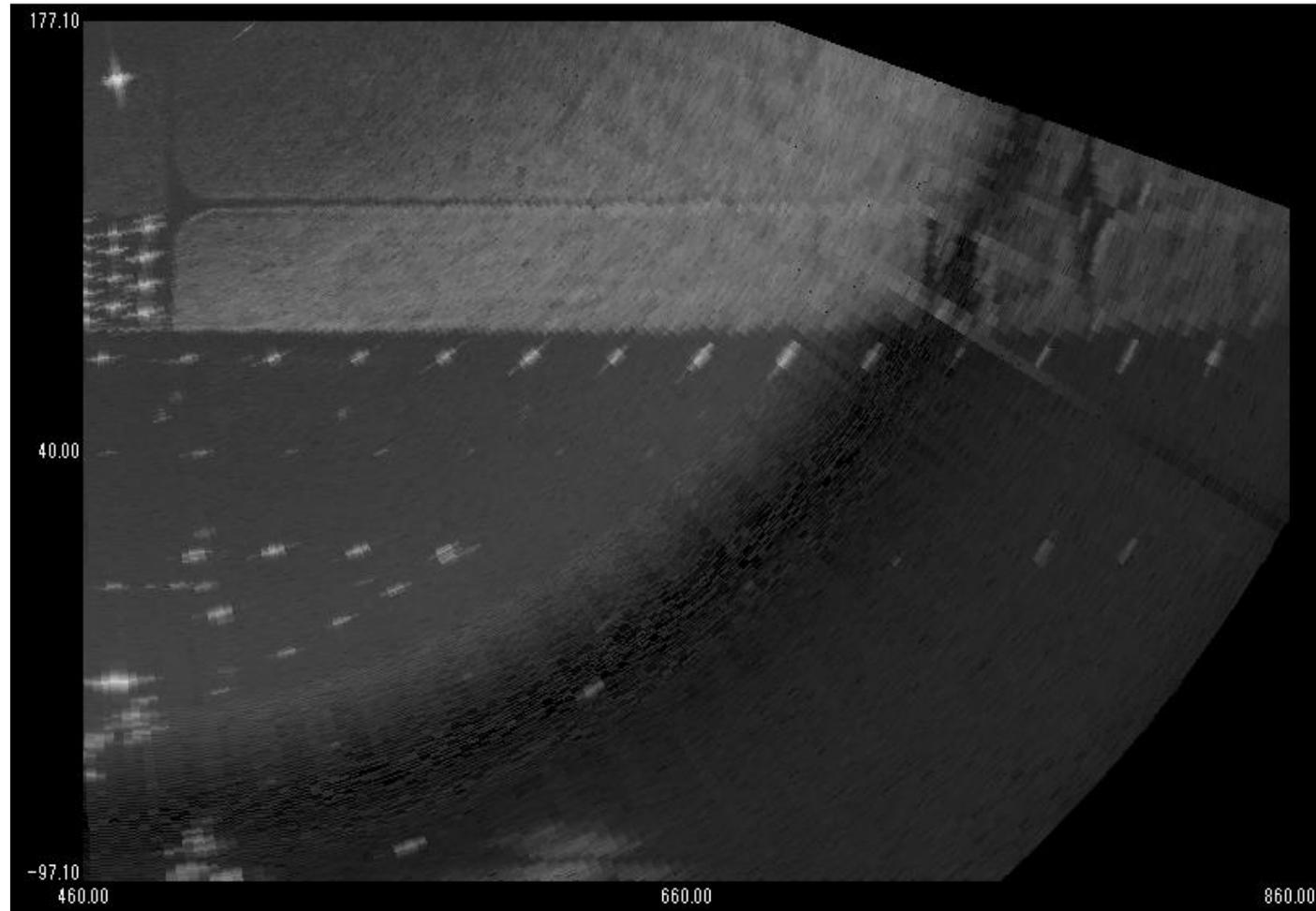
- 450m離れた1インチの標準反射体（小）を検出できる性能

# リニアセルレーダーの画面表示例



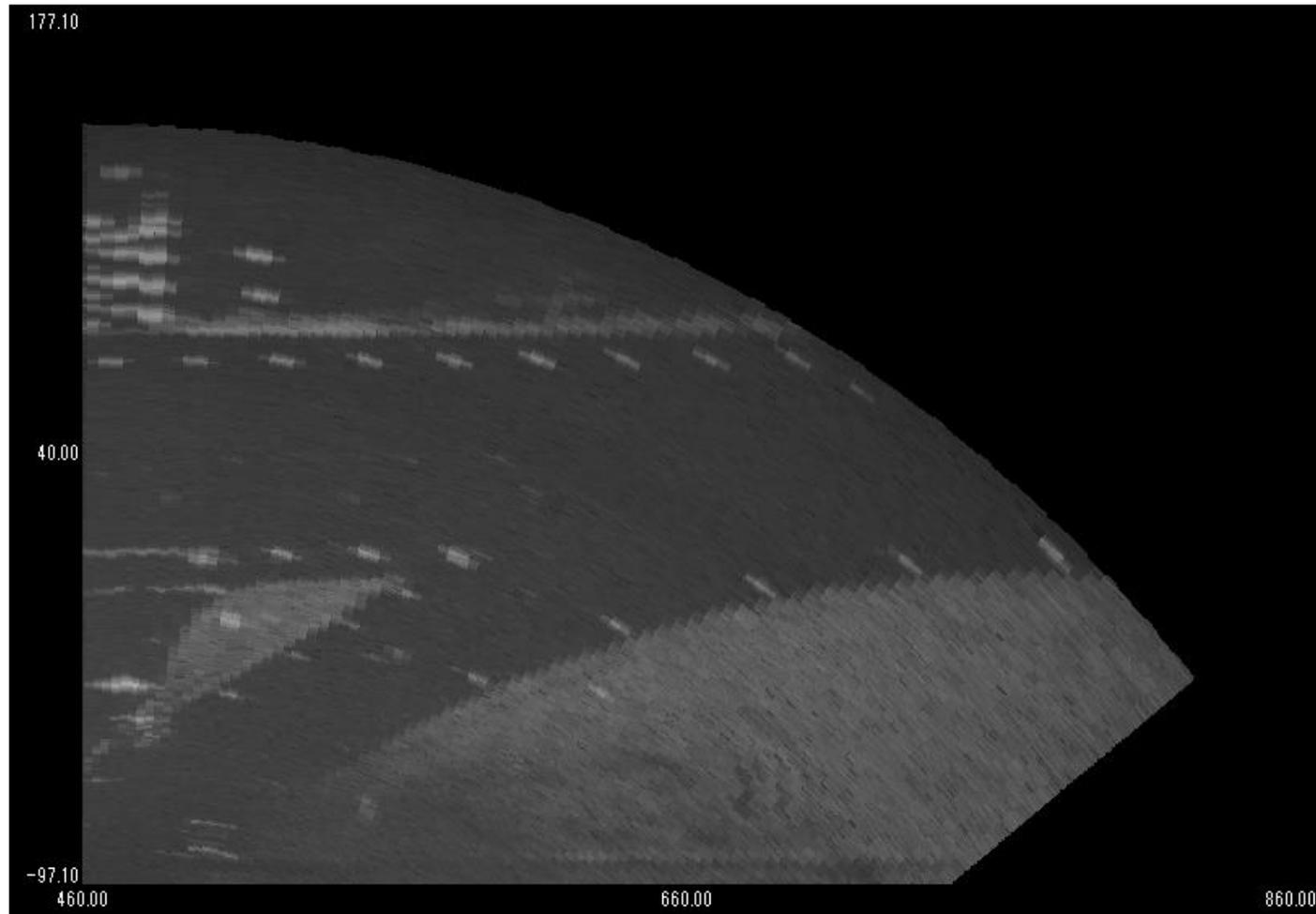
- 4秒おきにデータを定誤警報確率 (CFAR)処理して異物の有無を判定し、連続して検出されたものを抽出して記録

# 空間分解能向上のための信号処理 -1-



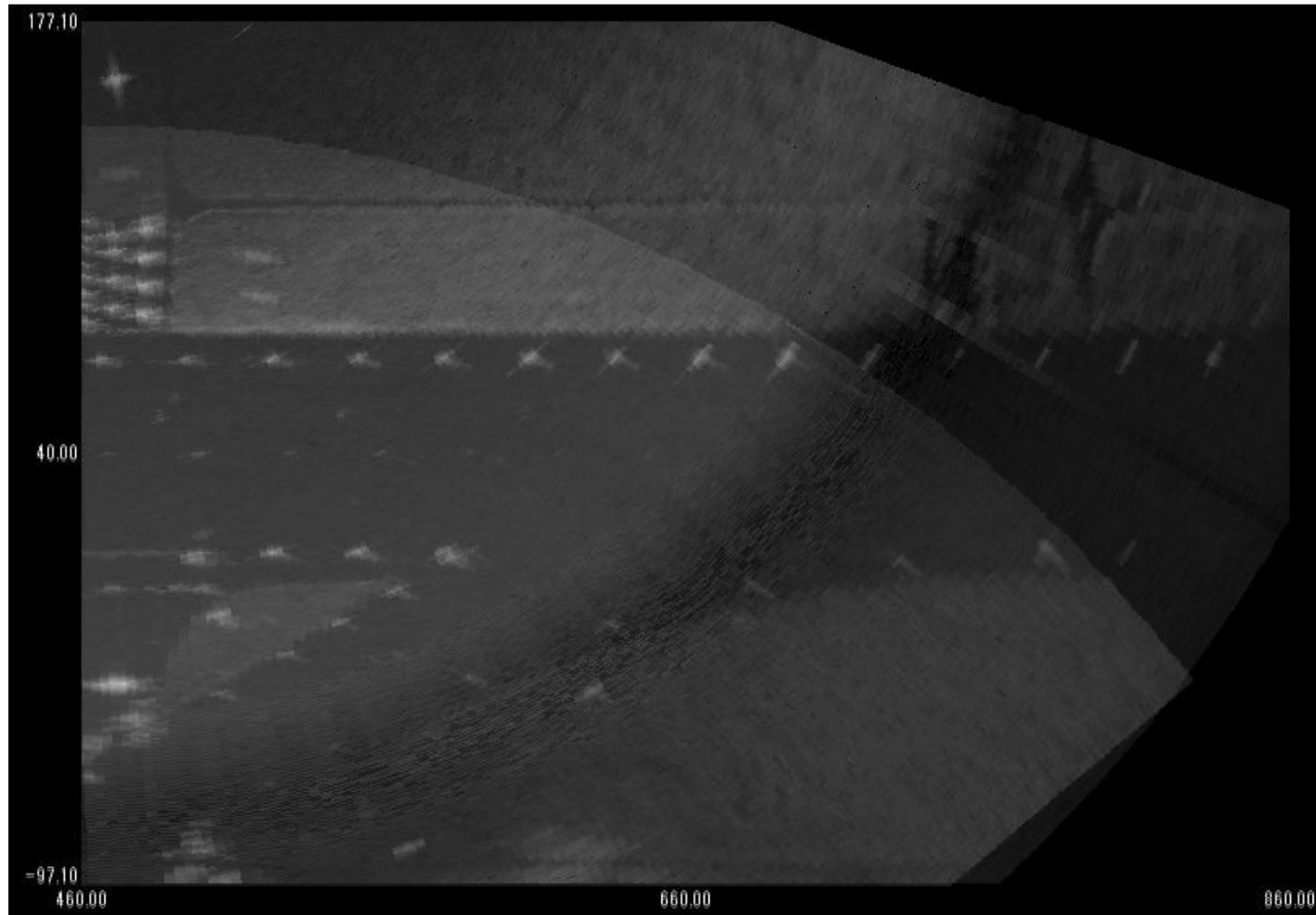
- 一つのレーダーはアジマス方向に大きな誤差

# 空間分解能向上のための信号処理 -2-



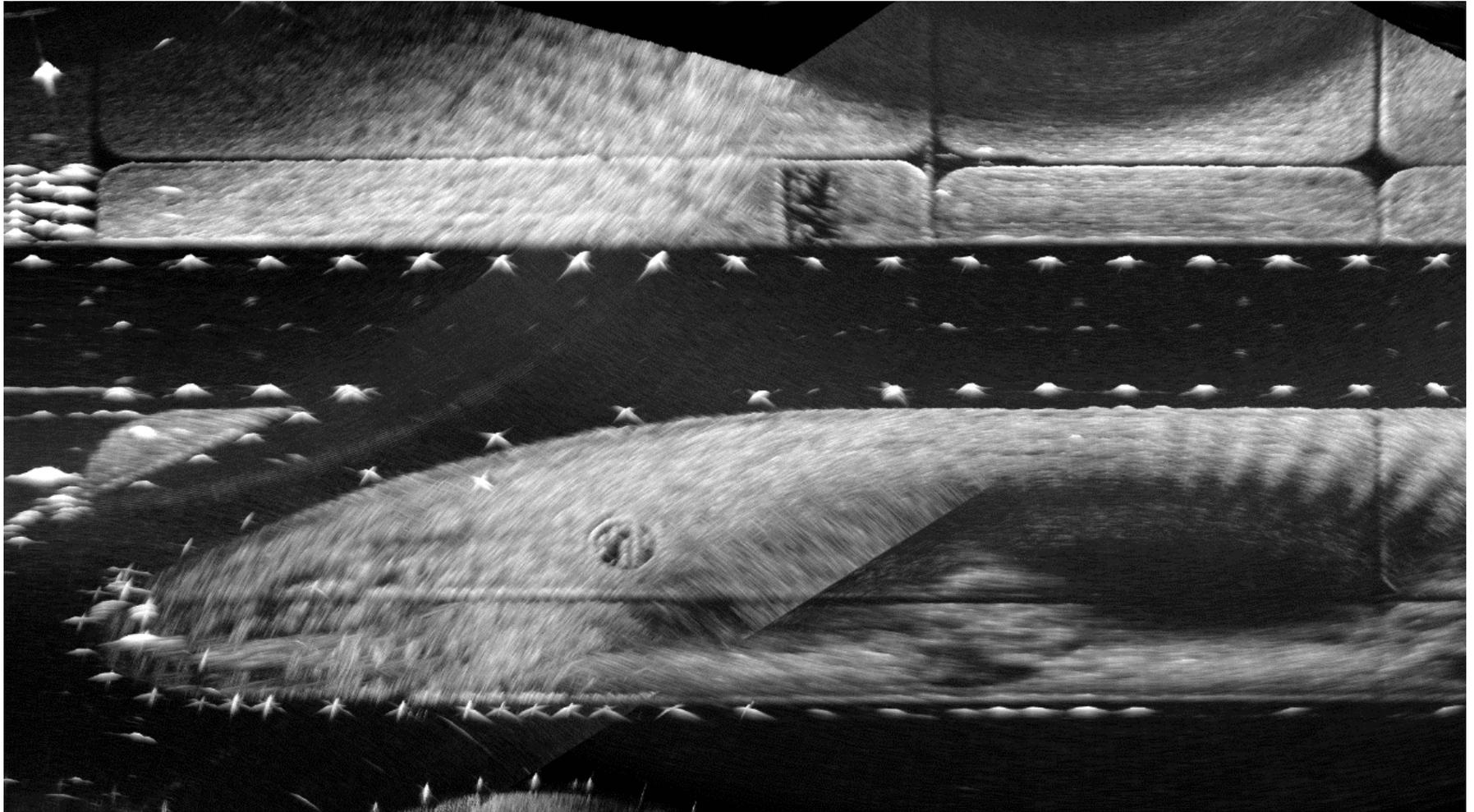
- 他のレーダーで異なる角度からのイメージを取得

# 空間分解能向上のための信号処理 -3-



- 2つのレーダーイメージを使えば交点によりアジマス誤差が低減

# 高分解能レーダー画像処理技術



- 擬似3次元表示により、交点や微弱な信号反射を強調表示

# 高感度カメラ

- カメラの感度は夜間の異物認識のカギ
- 夜間性能を向上させた新規開発カメラの性能評価

## ①ICMOS カメラ (既製品)

光学倍率: 最大30倍

画素サイズ: Full HD

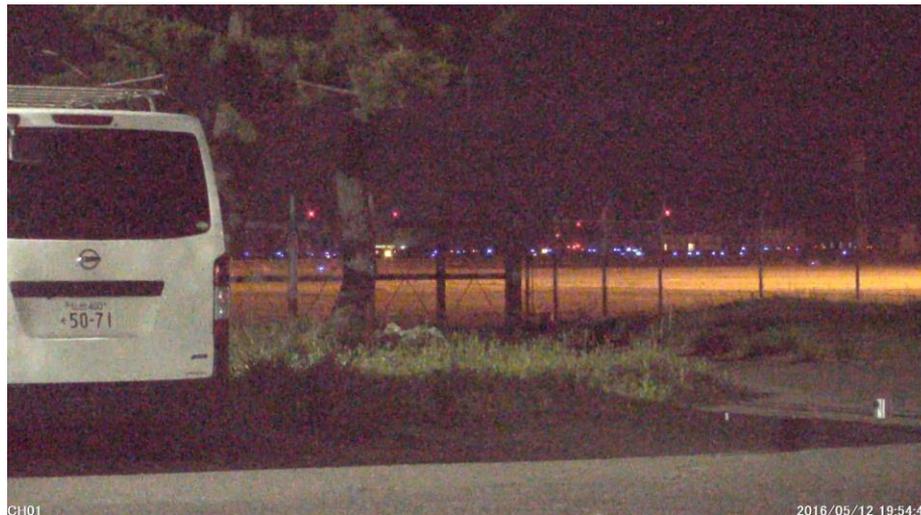
受光素子: 1/2.8 CMOS sensor x 1

## ②3CMOS カメラ

光学倍率: 最大35倍

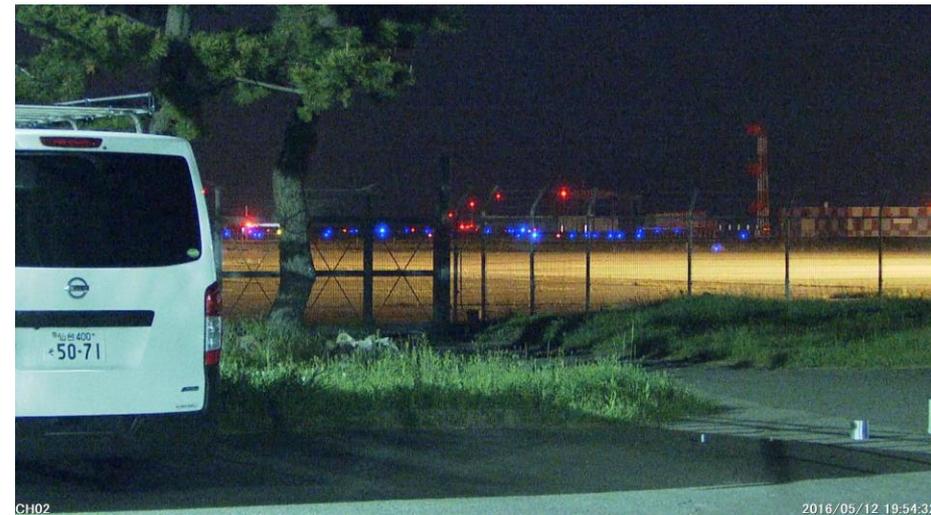
画素サイズ: Full HD

受光素子: 1/2.86 CMOS sensor x3



CH01

2016/05/12 19:54:48

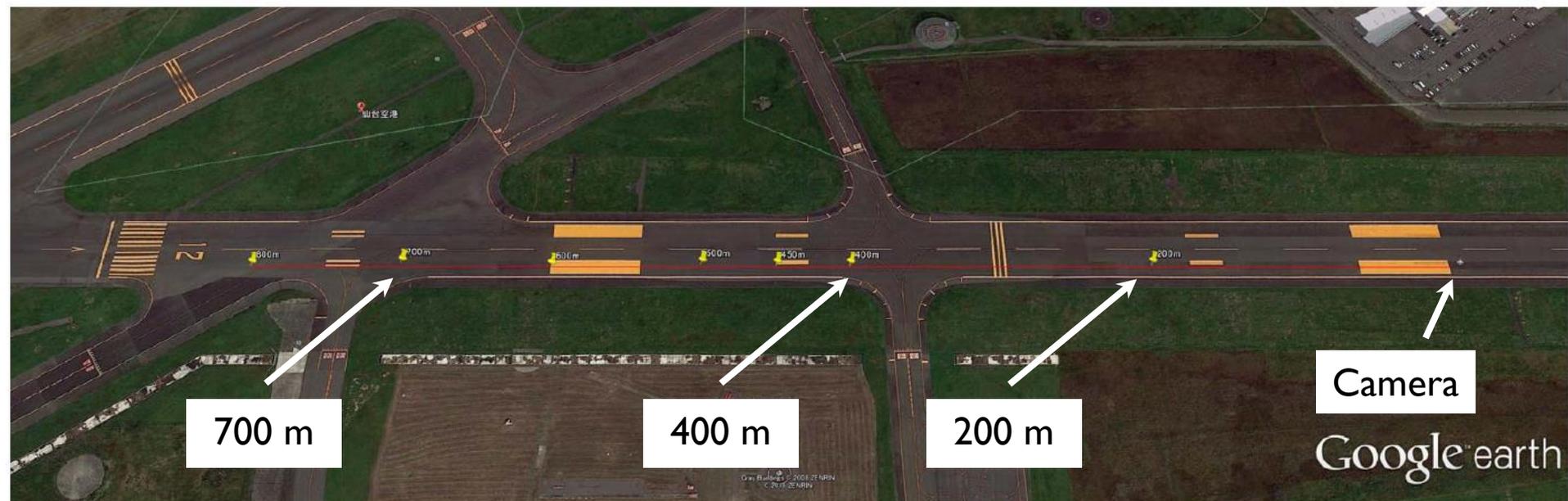


CH02

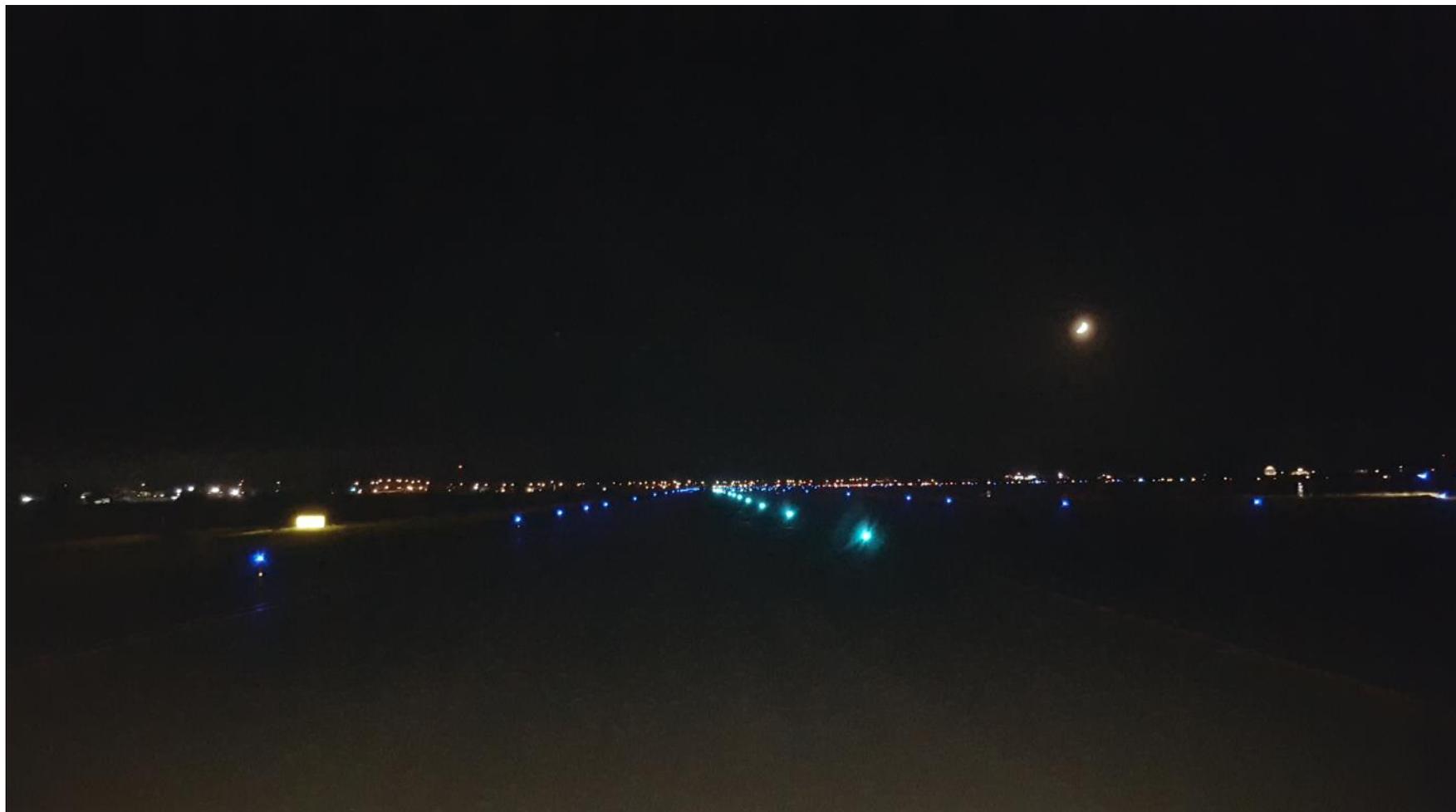
2016/05/12 19:54:32

# カメラ性能試験の条件

- 夜間の仙台空港滑走路上にサンプルとカメラを設置
- カメラとサンプルの距離を変えて映像を取得  
(200m, 400m, 700m)



# 試験時の環境条件



- 滑走路灯は点灯、その他の補助灯火は無し

# 試験サンプル

## 標準反射体

大 (diameter and height: 134 mm)  
中 (diameter and height: 62 mm)  
小 (diameter and height: 25 mm)

M10 ボルト  
(Long: 85 mm  
Short: 30 mm)

M6 ボルト  
(53 mm)

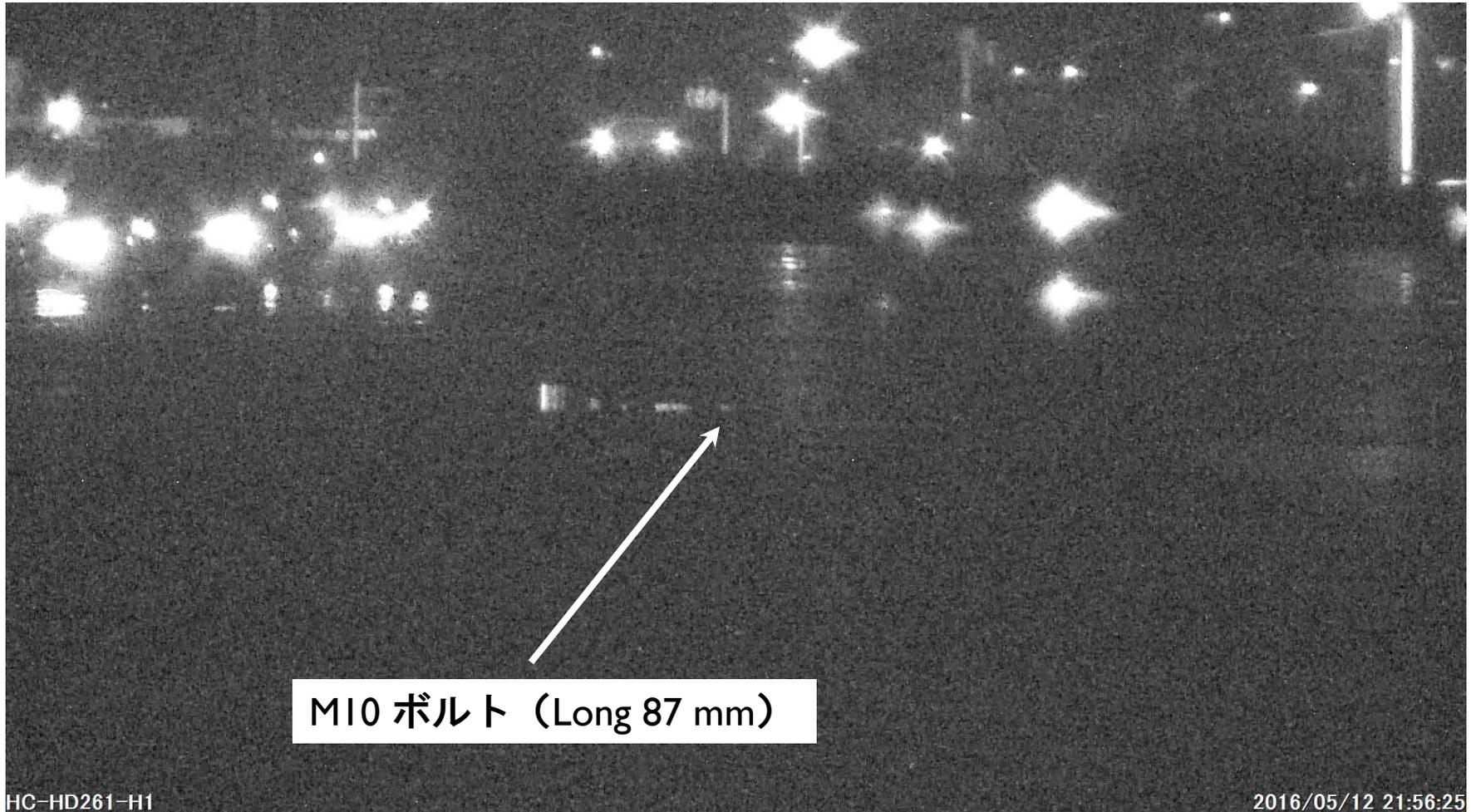
曲げた金属片  
(3cm width, 40 cm long)

M8 ボルト  
(Long: 70 mm  
Short: 23 mm)

M4 ボルト  
(Long 37 mm  
Short: 17 mm)

- 11種類の試験サンプルを距離を変えて配置し撮影

# 距離 200 m (I CMOS)



- 長い M10 ボルトより大きな物体は検出可能

# 距離 200 m (3 CMOS)



- すべてのサンプルが検出可能

# 距離 400 m (1 CMOS)



- 標準反射体 (大、134mm) のみ検出可能

# 距離 400 m (3 CMOS)



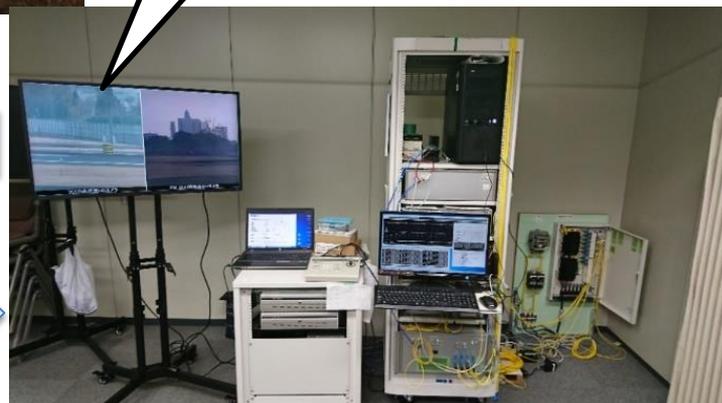
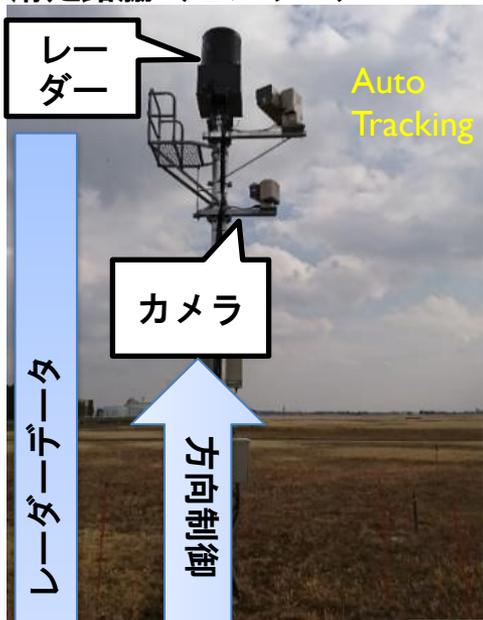
- すべてのサンプルが検出可能

# FOD検出と自動追跡

- あらかじめ監視区域を設定する。
- 直前のレーダー測定と比較して、新しく発生した事象を抽出し、2回連続で検出された箇所を特定。(移動物体、ランダムノイズを除去)
- レーダーで抽出された場所を自動的にカメラで撮影。

→レーダーで検出された物体を瞬時にディスプレイに表示

滑走路脇（センサー）

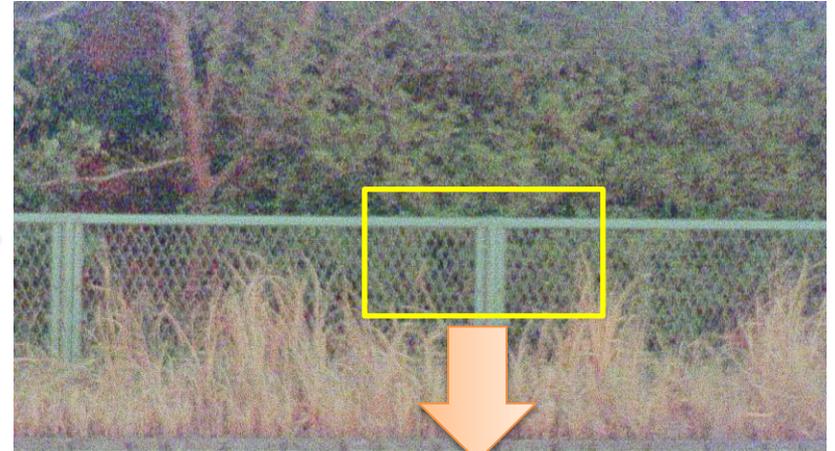


空港ビル（中央装置）

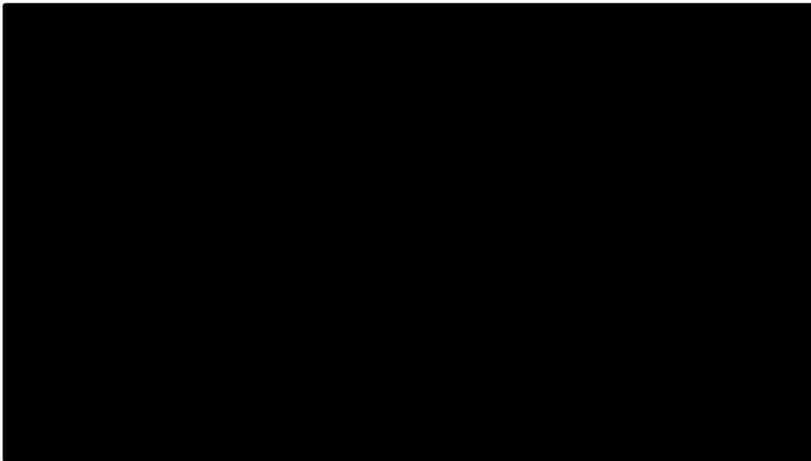
# 夜間撮像性能の評価



標準画角



中間ズーム



iphoneで撮影した風景



最大ズーム

- 各色それぞれ積分処理を行うことで、暗い映像から色を再現

# 検出の一例



- 滑走路上の異物を自動で検出、撮影

# 検出結果



- ・ ハイブリッドセンサーで1inchの金属片が350mで認識可能

# まとめ

- 空港面のFOD監視用ハイブリッドセンサーシステムの紹介
  - 90GHz帯で8GHzの帯域幅により高精度測定が可能
  - 複数のレーダー画像を合成することで単体よりも平面的な分解能が向上
  - 夜間のFOD映像取得のため高感度カメラを開発
- 滑走路上の1インチの金属円柱を検出するために十分な性能を達成

# 今後の課題と取り組み

- 鳥や鏡面反射物体の検出率向上.
- 悪天候時の性能劣化の評価
- 保守性向上のための電子走査レーダー

## 謝辞

- 本研究の一部は総務省の電波資源拡大のための研究開発として実施されました。
- 本研究は日立国際電気、情報通信研究機構、鉄道総合技術研究所との共同研究として実施されました。