

2018年6月 平成30年度 日本航海学会 春季講演会 (2018年6月9日) 於 東京海洋大学

ミリ波レーダを用いた ヘリコプタ障害物探知技術の研究開発

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

電子航法研究所 監視通信領域

ニッ森 俊一

発表内容

■ 研究背景と目的

- ミリ波レーダを用いた前方障害物探知

■ ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダシステム

■ 高圧送電線探知地上試験

■ 高圧送電線探知ヘリコプタ飛行試験

- 飛行試験概要と結果例
- 送電線鉄塔データベースとレーダ探知結果の合成表示例

■ まとめ

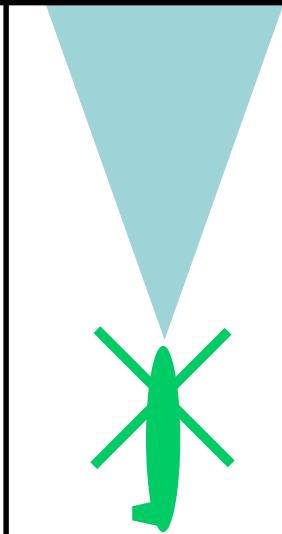
研究背景

■ 安全運航を支援する障害物探知・周辺状況認識システム

比較的低高度を有視界飛行するヘリコプタ

- 狭い場所での離着陸が可能で、空中での停止ができることから、災害救助・救急医療などで活躍
- 一方、気象や周囲構造物の影響で障害物の発見等に支障が生じ、事故等の危険な事案が発生する恐れ

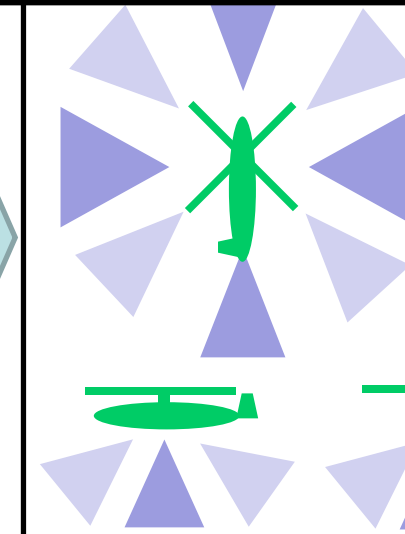
前方障害物探知



覆域：
機体前方1マイル程度
走査速度：
毎秒1回から2回程度
走査方式：
細ビームを機械走査

遠方送電線および
送電線鉄塔等を対象

全周障害物探知



覆域：
機体全周200 m程度
走査速度：
毎秒10回以上
走査方式：
デジタルビーム
フォーミング

送電線に加え
近接地物等を対象

研究目的①

■ これまでの研究成果（～平成18年度）

- ミリ波レーダ、赤外線・可視カメラ等からなる高度監視システム



障害物探知システムの概要

センサ：94 GHz帯ミリ波レーダ、
可視カメラ、赤外カメラ

レーダ重量：40 kg

全体重量：212 kg

障害物探知距離：約1,000 m

センサ類の性能向上に伴う、さらなる小型軽量化および高感度化

76 GHz小電力ミリ波レーダの送電線探知性能向上

研究目的②

- これまでの研究成果（～平成27年度）
 - 76 GHzにおいて特定小電力無線局の技術適合証明を取得
 - JAXA、北海道放送との共同研究で飛行試験を実施



ミリ波レーダ

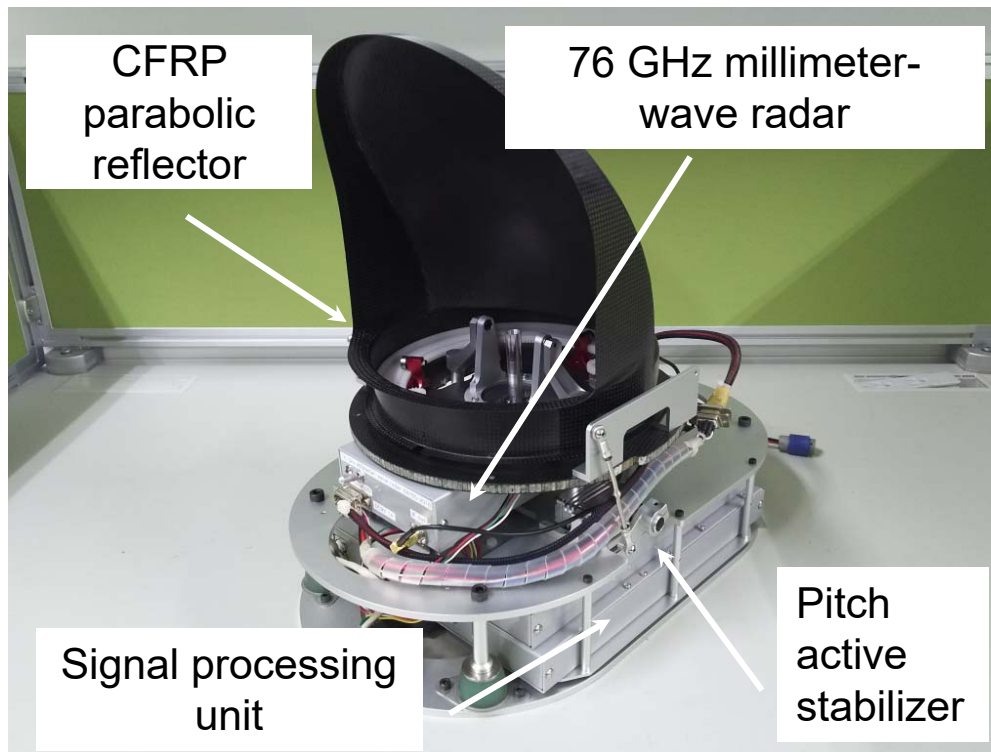
特定小電力機器・
小電力ミリ波レーダ規格
周波数: 76.0～77.0 GHz
信号帯域幅: 1 GHz以内
出力: 10 dBm以下
アンテナ利得: 40 dBi以下
重量: 3.5 Kg

送電線鉄塔・送電線探知距離はそれぞれ約1,000 m・約500 m

前方監視用ミリ波レーダシステム

■ システム概要

- 送電線および送電線鉄塔等の地上地物探知
- 送電線探知距離1マイル(約2 km)以上



ハードウェア

- 送電線検出に適した円偏波送受信
- 機体動揺に対応するためのファンビームアンテナおよびピッチスタビライザ
- 炭素繊維強化プラスチックを用いたパラボラ反射版アンテナ

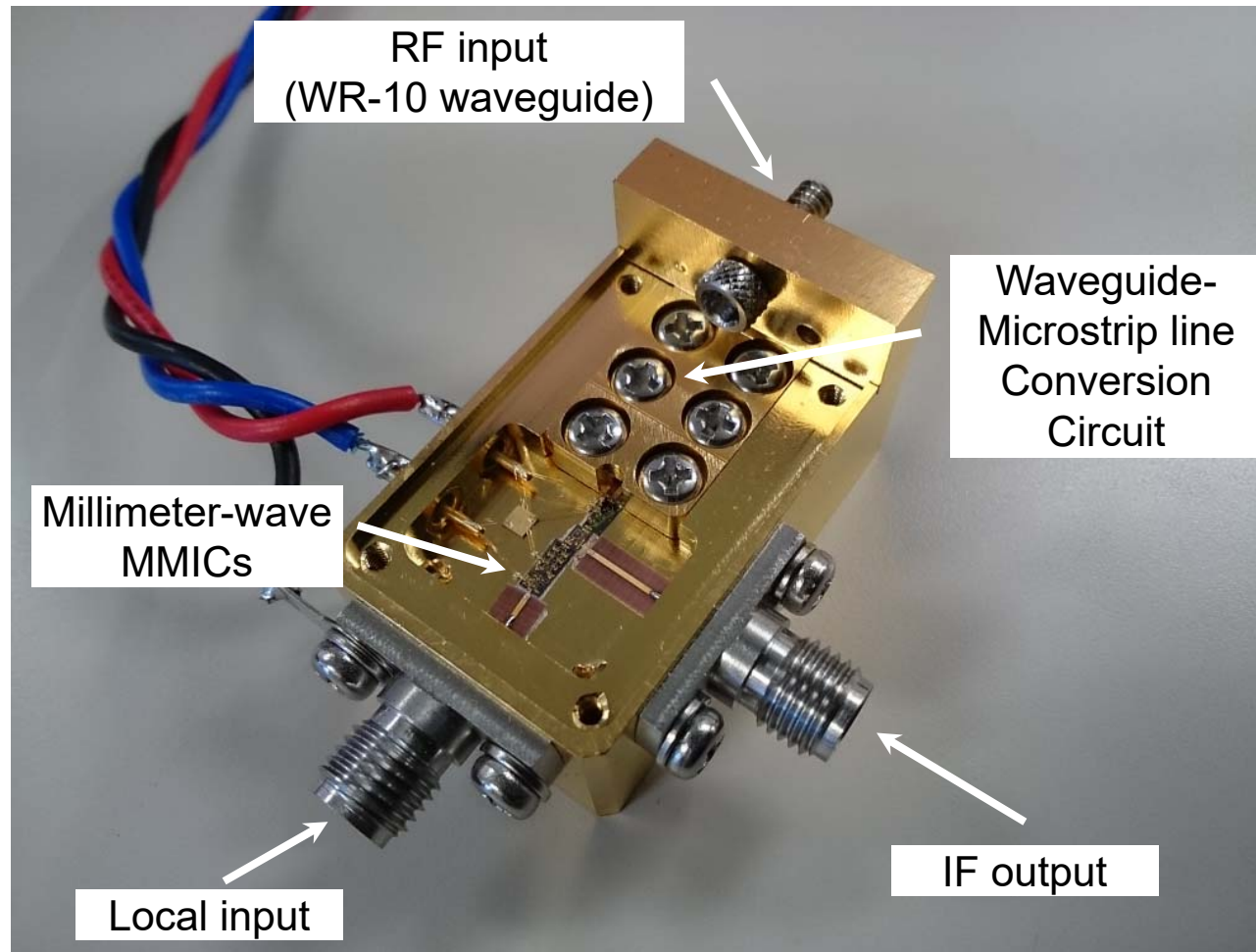
ソフトウェア

- リアルタイム振幅積分および位相積分機能を追加し、受信信号SN比を改善(~20 dBのSN比改善)

前方監視用ミリ波レーダを用いたヘリコプタ障害物探知システム

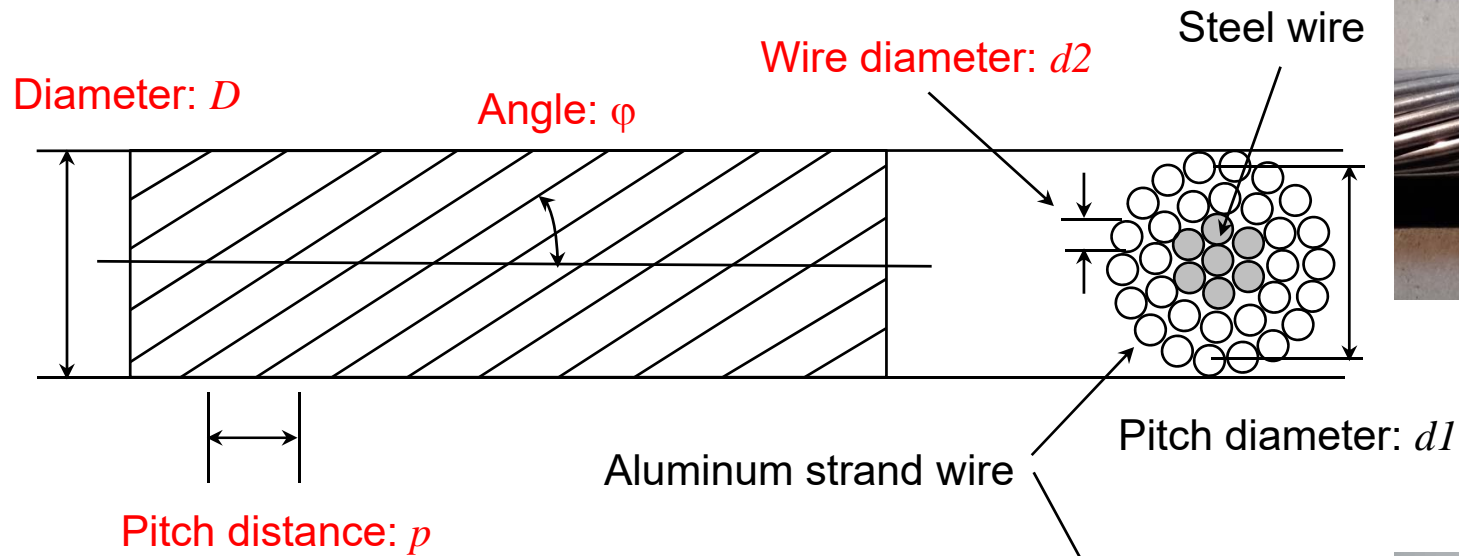
ミリ波レーダ受信回路の検討

■ 低雑音増幅器を用いた受信回路試作

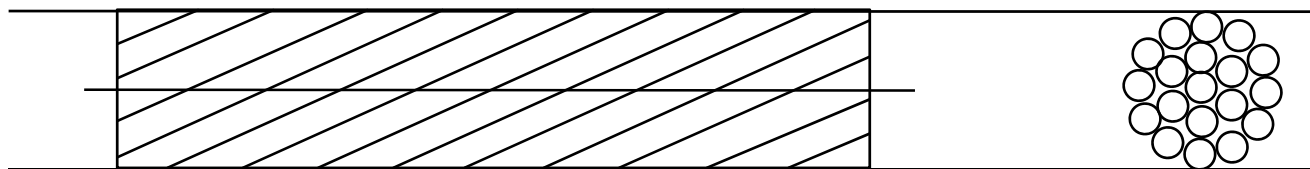


高压送電線形状

(a) 鋼心アルミより線 (ACSR240)

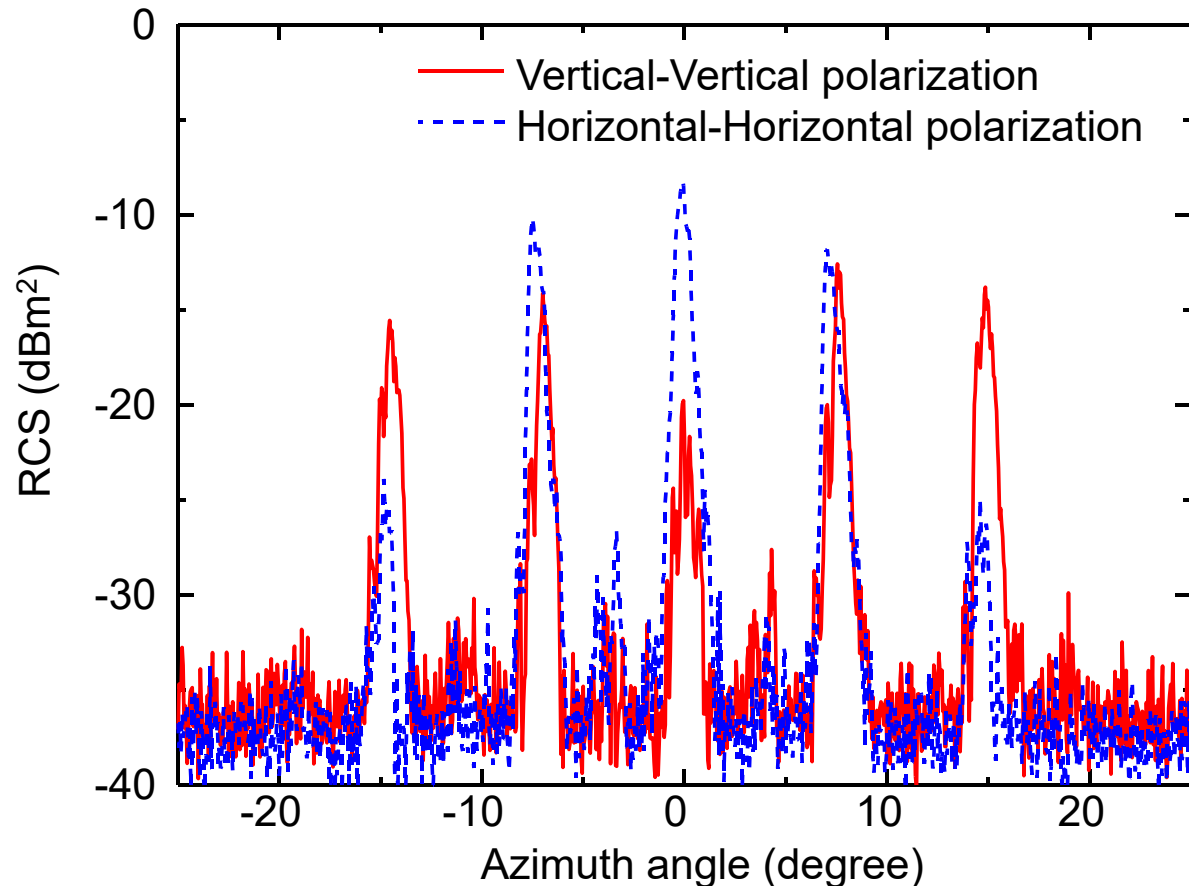


(b) 屋外用架橋ポリエチレン絶縁電線
(6600 V OC、100 mm²)



円偏波送受信方式の適用

■ 高圧送電線のレーダ反射断面積 (RCS) の角度特性



対象物:
高圧送電線 (ACSR240)

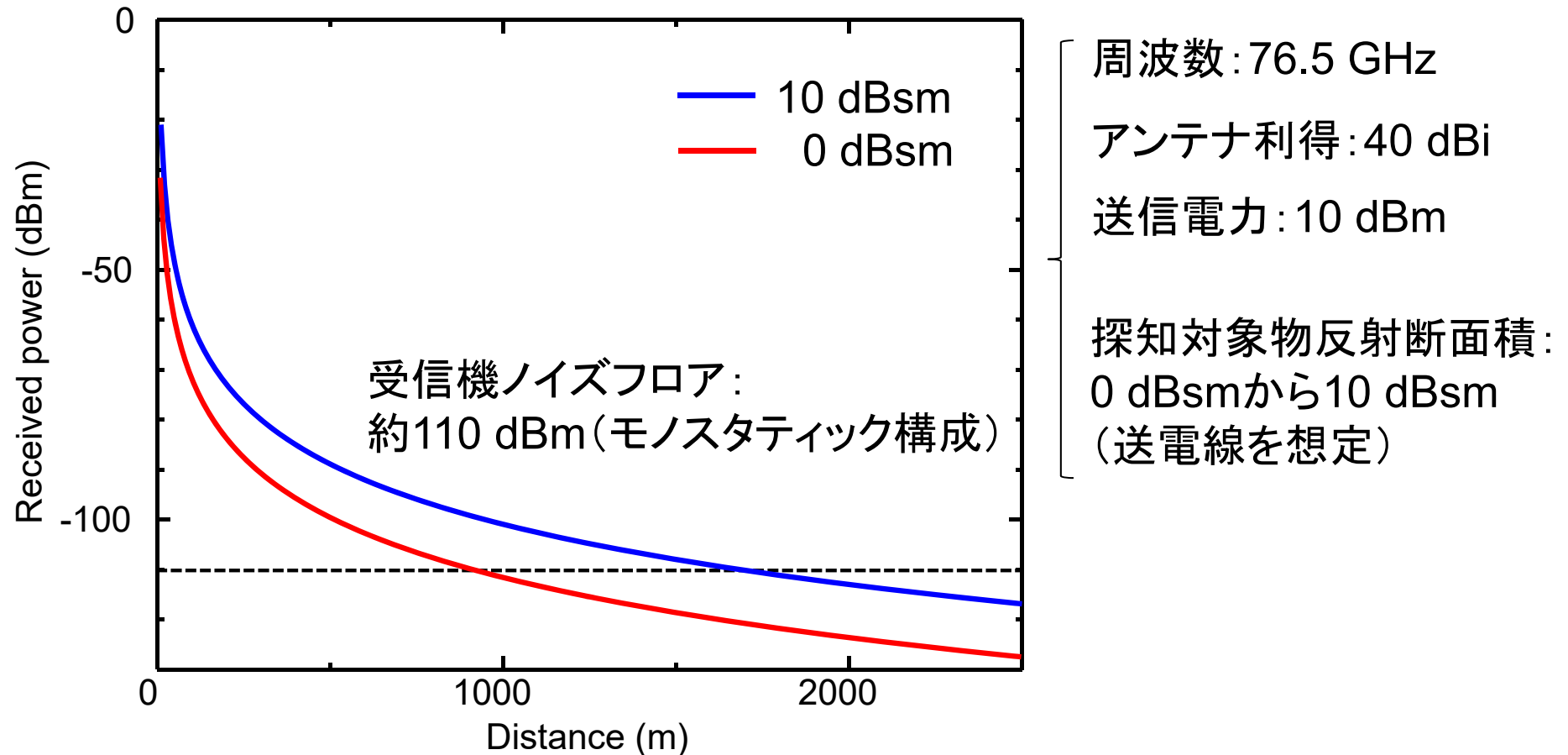
測定条件:
電波暗室内測定
垂直および水平偏波



両偏波成分を用いることで、単一偏波よりも送電線反射波強度大

ミリ波レーダによる送電線検出の課題

■ 送電線からの反射電力理論値(レーダ方程式)



反射断面積が低く、探知距離が長いため、受信電力低

76 GHz小電力ミリ波レーダ仕様

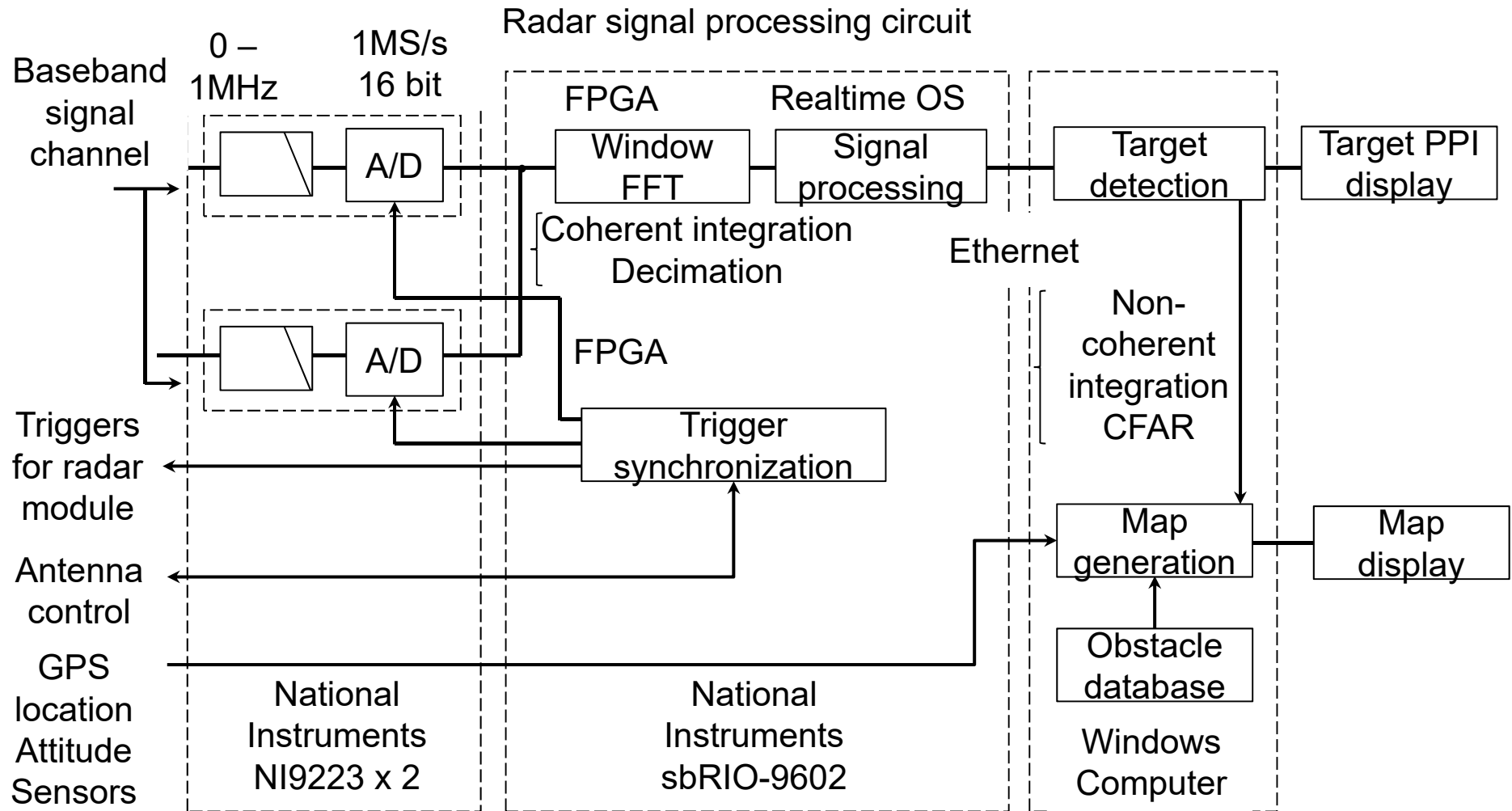
■ レーダ仕様

中心周波数	76.5 GHz
帯域幅	Up to 1 GHz
送信電力	10 dBm
アンテナ利得	35.6 dBic
アンテナ 利得電力半値幅	1.9 度 (方位角) 2.7 度 (仰角)
測距方式	FMCW
FM変調方式	Sawtooth
FM変調時間	2.048 ms
受信雑音指数	12 dB
送受信アイソレーション	35 dB
最大探知距離	2,048 m

特定小電力ミリ波レーダ規格に適合し、無線局免許不要

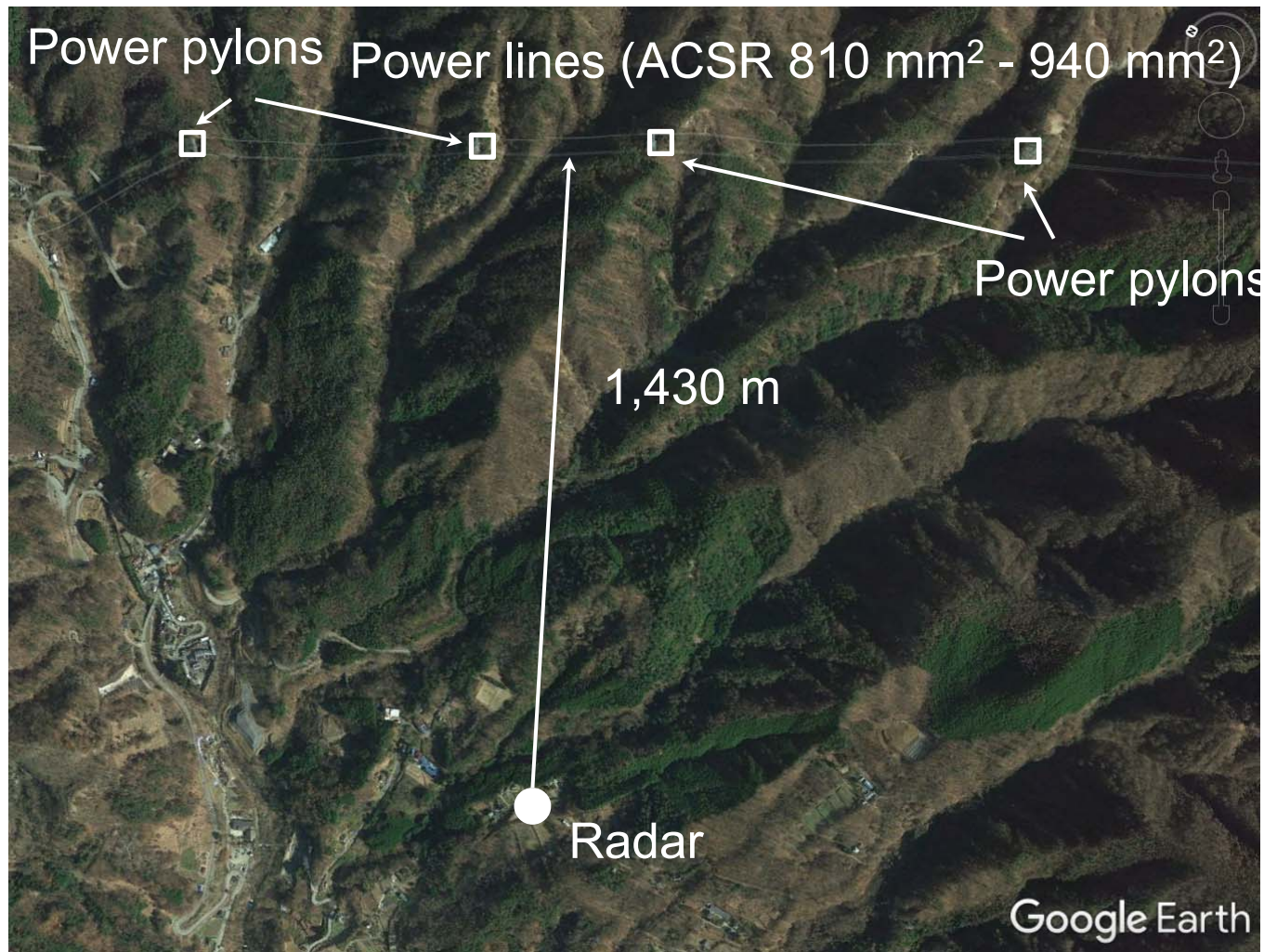
信号処理ブロック図

■ FPGAとリアルタイムOSを用いた信号処理回路



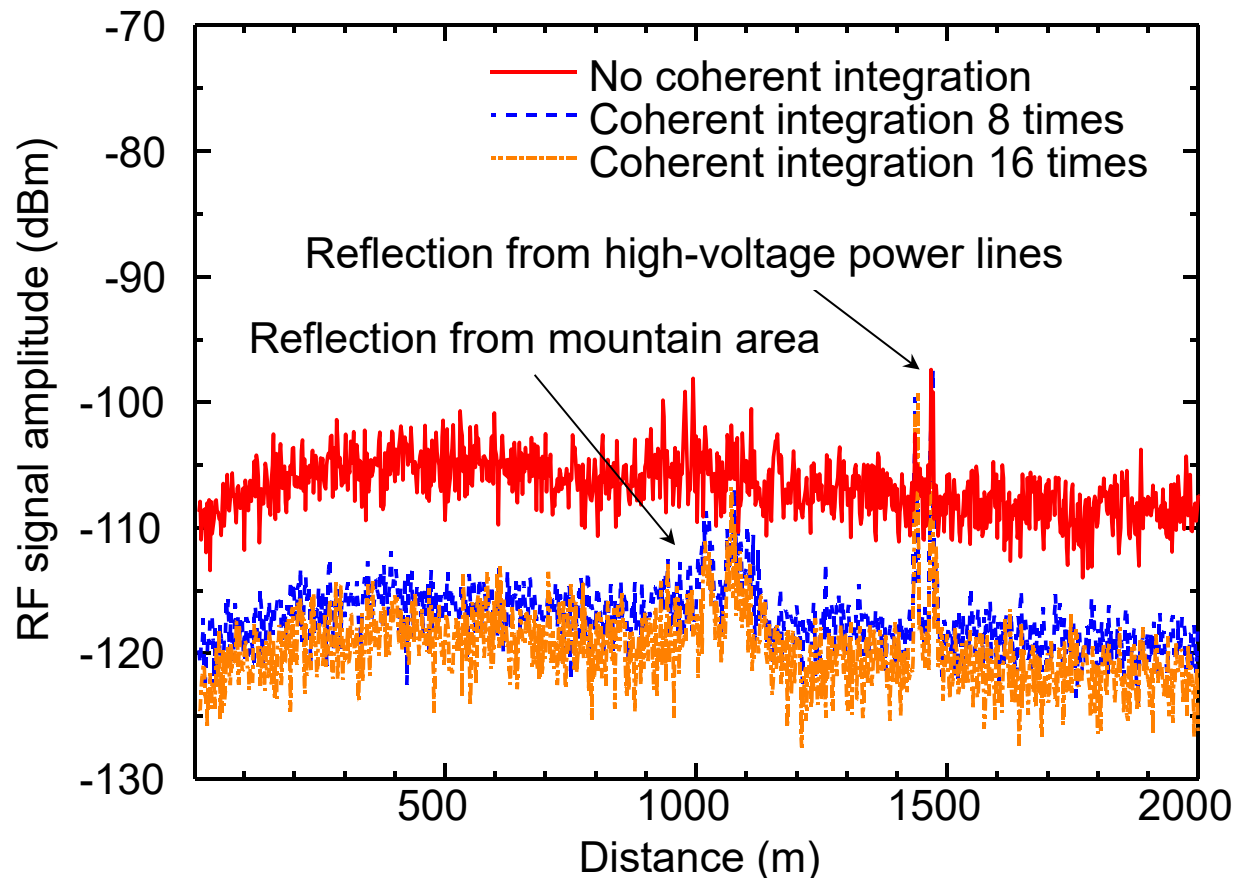
地上試験の概要

■ 山梨県甲州市大菩薩峠付近の1,000 kV超高压送電線



高圧送電線の測定結果例

1次元ビート信号スペクトラム



対象物:
約1,400 m~1,500 m先
の送電線

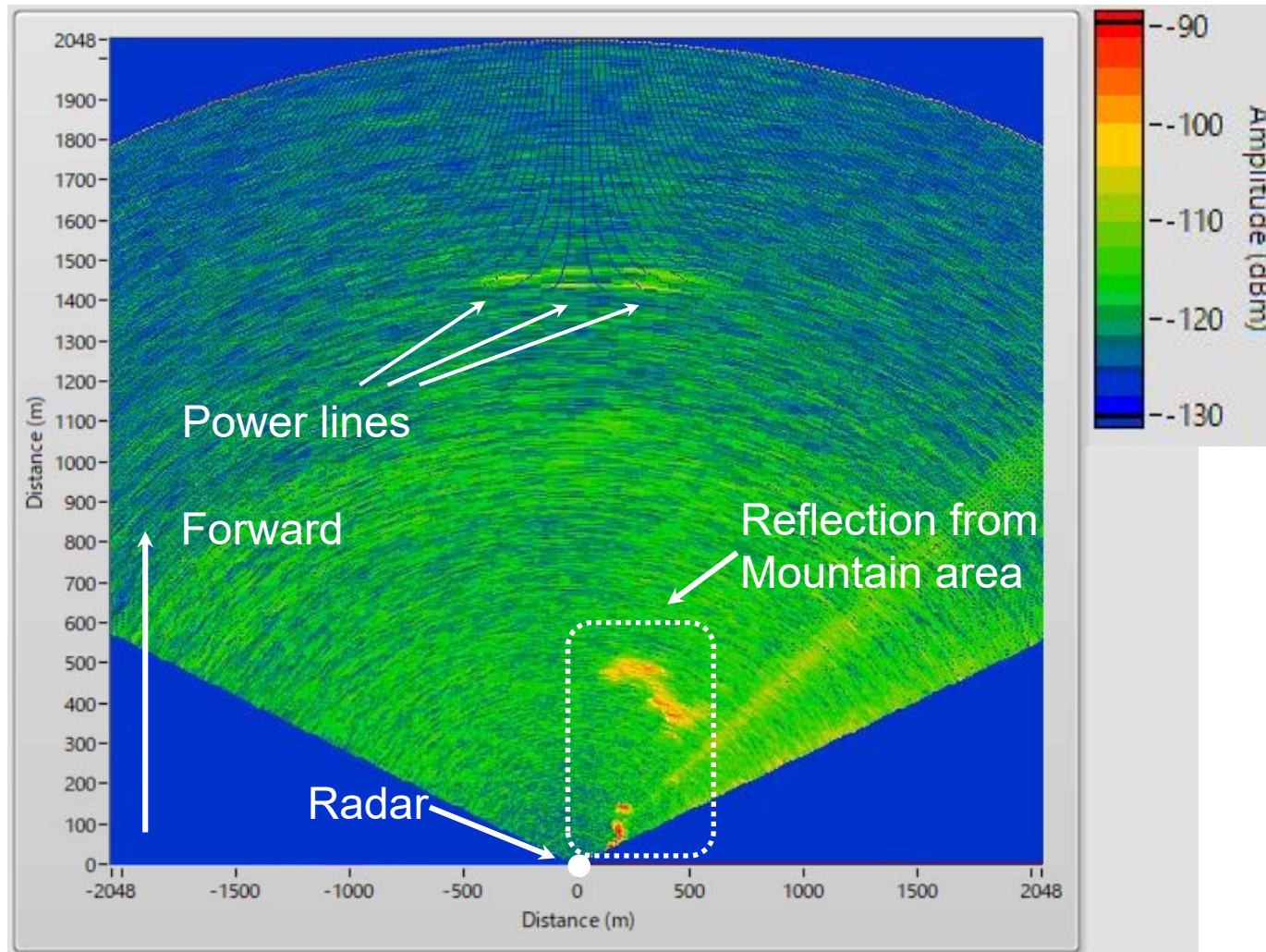
積分条件:
インコヒーレント積分4回

コヒーレント積分
なし(2 ms)、8回(16
ms) 16回(32 ms)

反射波ピーク電力は約-100 dBm。また、約1,000 mから1,200 m付近に森林等の地物からの反射が-110 dBm程度の反射電力で存在。

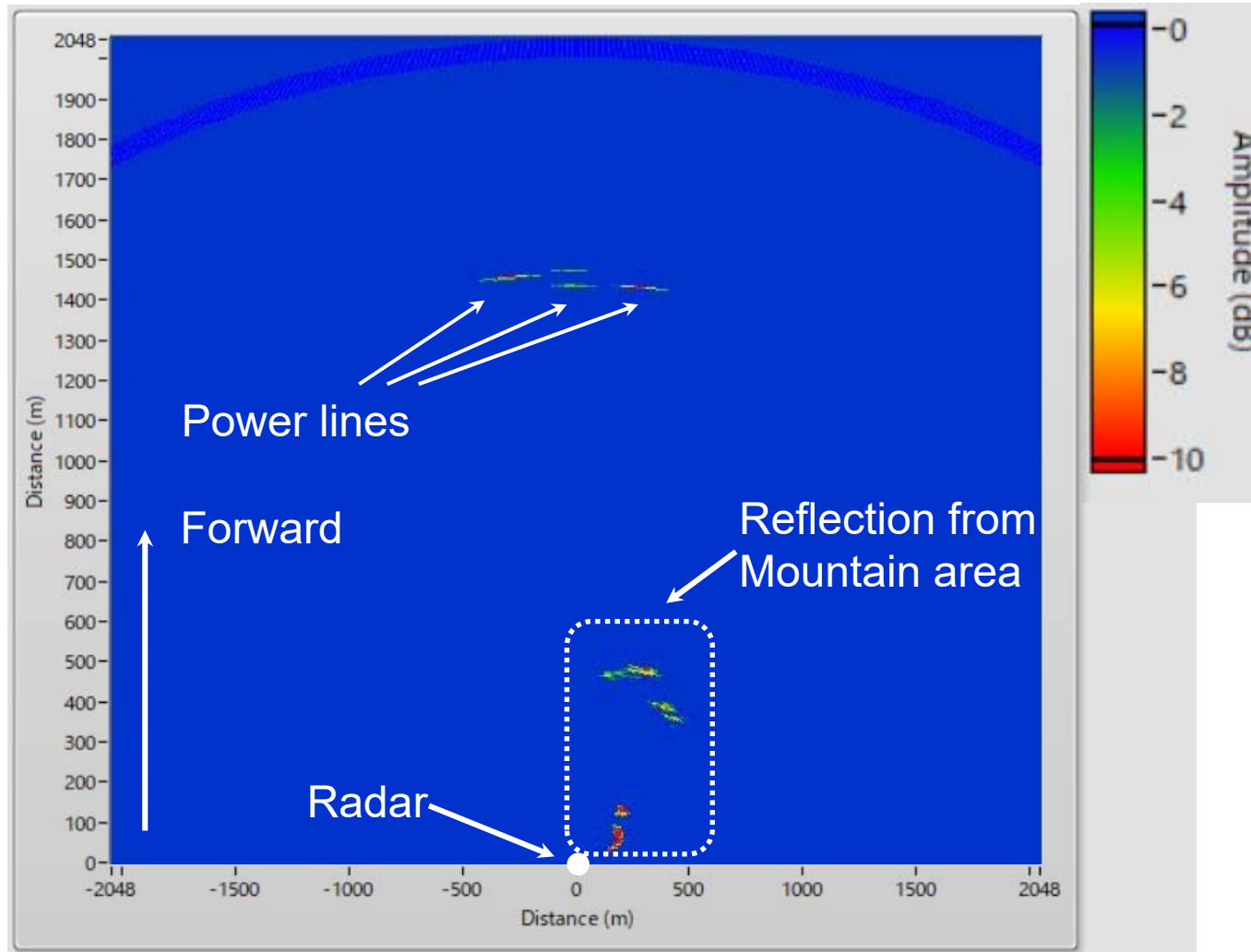
高圧送電線の測定結果例②

■ 2次元レーダPPIスコープ(生データ)



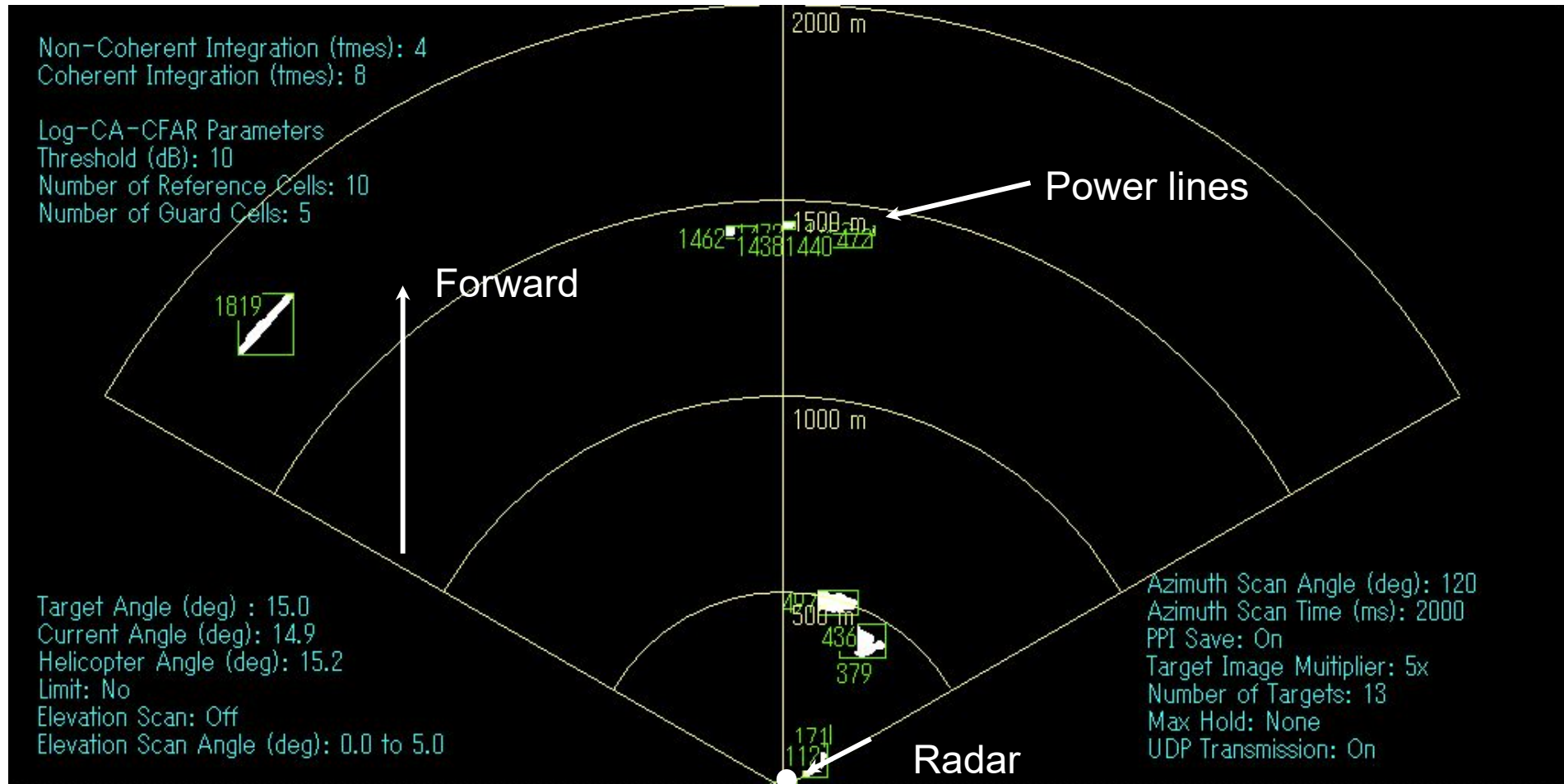
高圧送電線の測定結果例③

■ 2次元レーダPPIスコープ(定誤警報確率処理)



高圧送電線の測定結果例④

■ 2次元レーダPPIスコープ(対象物有無2値化・強調表示)



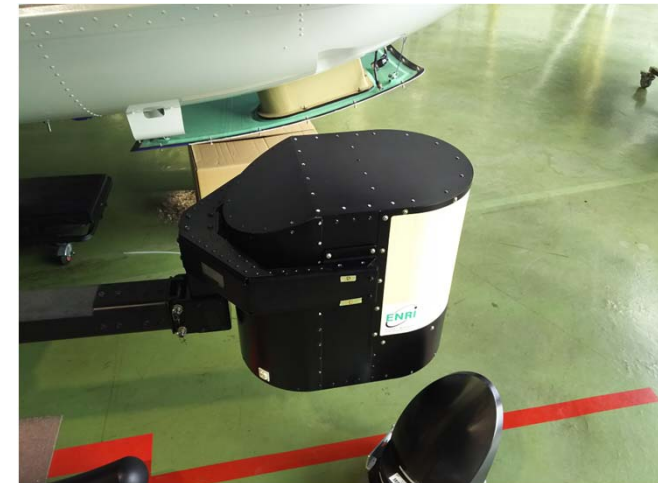
高圧送電線探知ヘリコプタ飛行試験

■ ヘリコプタ搭載試験概要



Millimeter-wave radar

Collaboration with:
Japan Aerospace Exploration
Agency (JAXA)
Hokkaido Broadcasting Co.,Ltd.
(HBC)



開発した前方監視用ミリ波レーダを用いたヘリコプタ搭載試験を
JAXA、北海道放送と共同で2017年9月に実施

ヘリコプタ飛行試験パラメータ

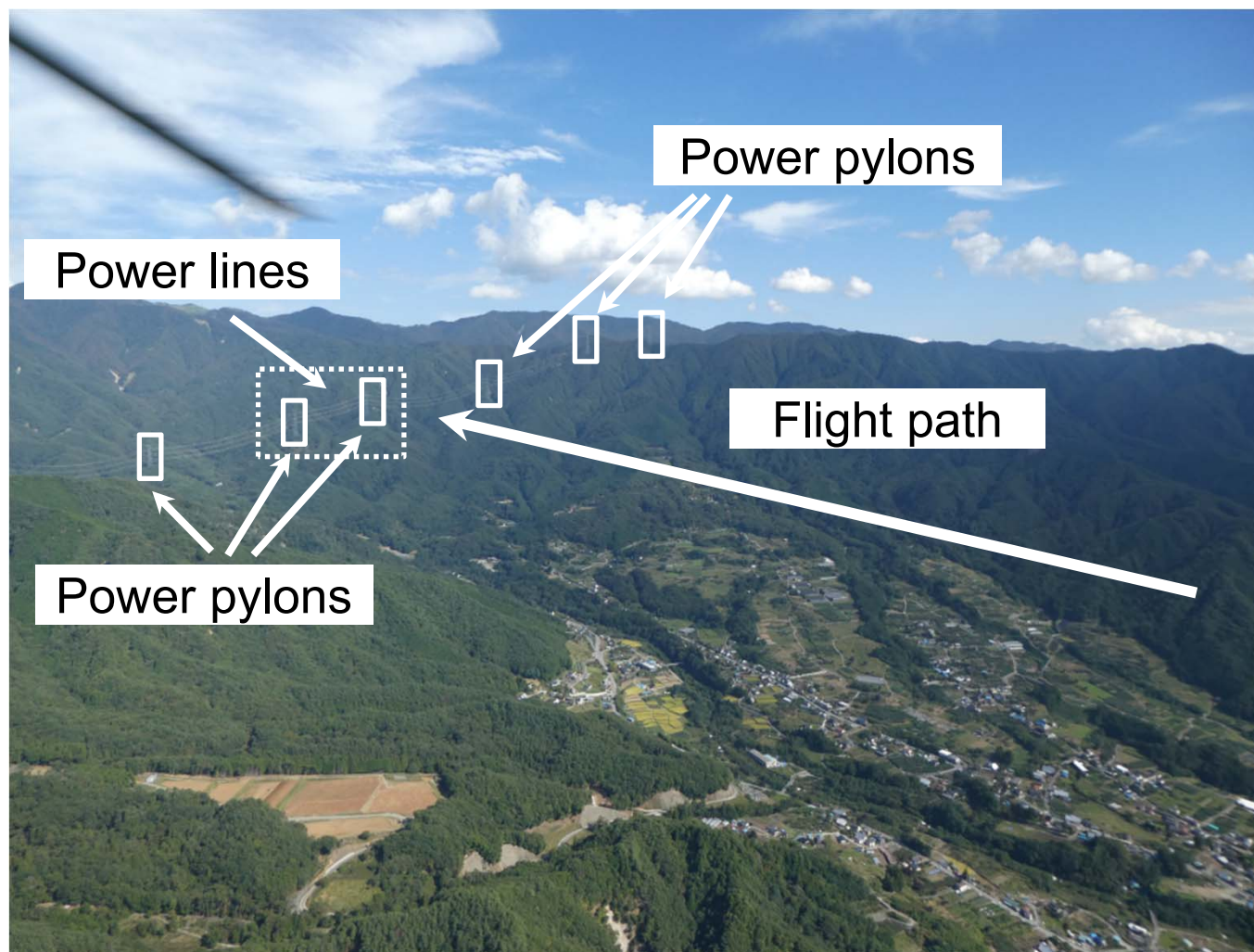
■ ヘリコプタ搭載試験概要

探知対象物	高圧送電線 (1,000 kV) および送電線鉄塔
試験場所	山岳地帯 (山梨県甲州市)
飛行条件	直角侵入、送電線鉄塔間の中間部の送電線上空 100フィートを40ノットで通過
インコヒーレント積分数	4回
コヒーレント積分数	16回 (視野角: 30度) 8回 (視野角: 60度)
閾値処理方法	対数平均化CFAR
CFARパラメータ	リファレンスセル数: 10 ガードセル数: 5、閾値: 10 dB
方位角走査角度 (視野角)	30度および60度
方位角走査速度	1 Hz
仰角走査角度	-3度から-7度

地上試験と同一の送電線に接近しつつ、探知距離を評価

ヘリコプタ飛行試験場所概観

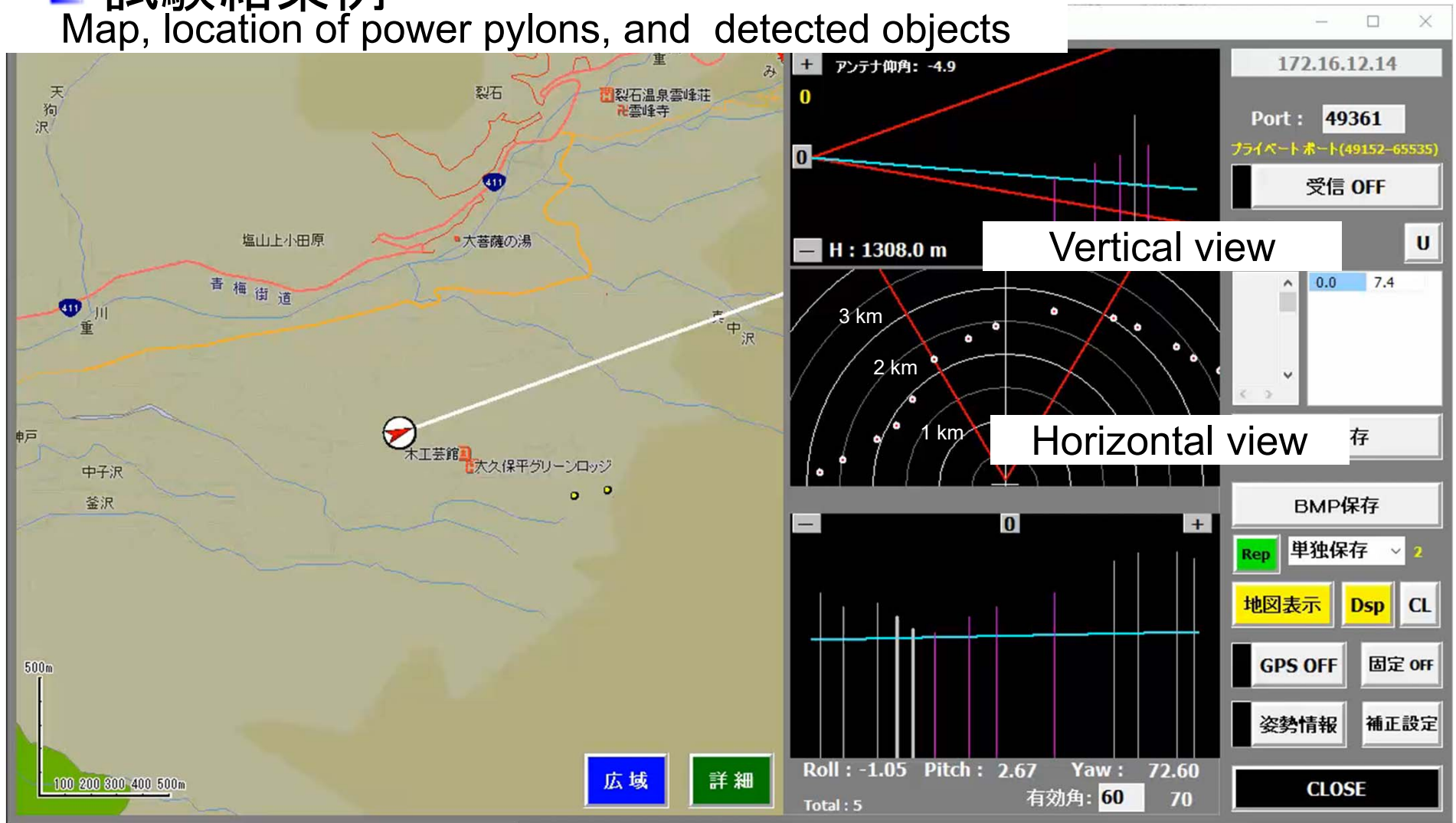
■ 試験状況



送電線鉄塔データベース・レーダ探知データ合成表示

■ 試験結果例

Map, location of power pylons, and detected objects



ヘリコプタ飛行試験結果例

■ 直角侵入・上空通過時の最大探知距離

➤ 視野角30度と60度の2種類の視野角で比較

最大探知距離	送電線鉄塔	1,972 m (視野角: 30度) 1,972 m (視野角: 60度)
	送電線	1,571 m (視野角: 30度) 1,527 m (視野角: 60度)
最小探知距離	送電線鉄塔	521 m (視野角: 30度) 203 m (視野角: 60度)
	送電線	239 m (視野角: 30度) 311 m (視野角: 60度)

送電線鉄塔および送電線の最大探知距離は、それぞれ約1,970 m
および約1,570 m

現在のシステム最大探知距離2,048 mは、信号処理回路に起因する
ため、さらに3,000 m程度まで送電線探知が可能と推定

まとめ

■ まとめ

- ミリ波レーダを用いたヘリコプタ障害物探知技術の研究開発

ヘリコプタに搭載し、送電線および送電線鉄塔検出に適した
76 GHz帯小電力円偏波ミリ波レーダを開発

ヘリコプタ搭載試験を実施し、送電線鉄塔および送電線をそれぞれ約2,000 mおよび約1,600 mの探知距離で確認

送電線鉄塔等の障害物データベースに加え、機上センサを用いた障害物探知はさらなる障害物情報の充実に活用可能

■ 今後の予定

- ミリ波レーダの性能向上および障害物情報の表示法検討