

## 1.1. ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダの飛行試験

監視通信領域 ※二ッ森 俊一，森岡 和行，河村 暁子，米本 成人  
 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 小林 啓二  
 北海道放送株式会社 桂 信生

### 1. はじめに

航空機の中でも、比較的低高度を主に有視界飛行するヘリコプタにとって、地上障害物は安全航行の脅威となる可能性がある。特に送電線等の線状障害物は、気象や周囲環境等の影響の元、操縦者による発見に支障が生じ、事故等のリスクが発生する恐れがある。これらの障害物等を事前に察知し、周囲を監視するために操縦者を支援するシステムとして、可視・赤外線カメラやレーダ等の様々なセンサを組み合わせたシステム等の研究がこれまで行われている。さらに、航空局提供の送電線に係る航空障害物情報（基礎データ）（以下、送電線鉄塔データベース）と自機位置のGPS情報に基づき接近警報を発生するシステムも検討されている[1]。

著者らは、これまでミリ波レーダを中心とした様々なセンサからなる高度監視システムの研究を行い、実機試験等を実施している[2]。本稿では、これまでに検討を行っているヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダの開発状況について、2017年度に実施した飛行試験結果について議論する。最初にレーダシステム概要の検討を示した上で、地上試験およびヘリコプタ搭載飛行試験の結果例を示し、送電線探知性能について議論を行う。

### 2. ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダシステム

飛行試験には、ヘリコプタ前方障害物監視用として送電線鉄塔および送電線等の探知を目的に開発した76 GHz帯ミリ波レーダシステムを用いる。本レーダシステムは特定小電力ミリ波レーダ規格（表1）[3]に基づくものであり、電波法の免許が不要である利点がある。図1に後述する2017年に実施した飛行試験時のヘリコプタ搭載状況を示す。また、図2および表2に、それぞれレーダシステム

表1 特定小電力ミリ波レーダ規格（一部）

周波数帯	76.0 GHz - 77.0 GHz
帯域幅	1 GHz 以内
送信電力	10 dBm 以下
アンテナ利得	40 dBi 以下



図1 回転翼航空機搭載状況  
 （宇宙航空研究開発機構  
 川崎式 BK117C-2 ヘリコプタ）

の概観および仕様を示す。レーダ反射断面積が比較的小さい送電線を、小電力レーダを用いて約1マイルの距離で探知可能な性能を実現するため、高利得アンテナおよび送電線検出に適した円偏波方式を用いている[4]。また、送受信アイソレーションは35 dBであり、送信信号による受信感度程度を抑えている。送受信アンテナは送受信が同一のモノスタティック方式を用いており、機械回転式の炭素繊維強化プラスチック製のパラボラ反射板アンテナである。アンテナ仰角制御は角度スタビライザ機能を有し、水平維持および任意角度制御が可能である。また、アンテナ利得電力半値幅は、方位角1.9度および仰角2.7度のファンビーム指向特性である。さらに、レーダシステムは、アンテナ部、送受信回路および信号処理回路を同一筐体内に納め、イーサネット経

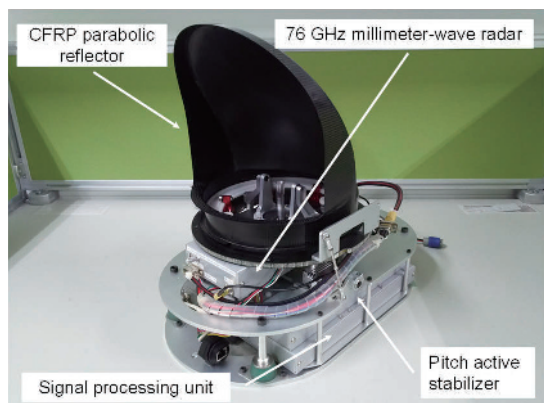


図2 ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダの概観

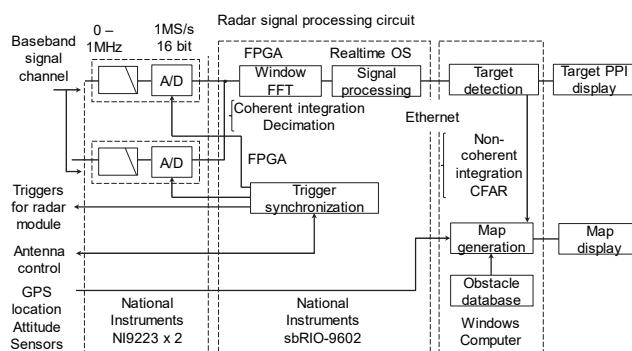


図3 76 GHz 帯ミリ波レーダの受信信号処理回路ブロック図

表2 ミリ波レーダ仕様

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

由でリアルタイムに、PPI (Plan Position Indicator) スコープ等のレーダ探知結果を出力する。リアルタイム処理を実現するため、図3に示す高速信号処理回路を適用する。

### 3. 高圧送電線探知地上試験

開発した76 GHz ミリ波レーダシステムを用い、高圧送電線からの反射特性を定量的に取得するため、飛行試験時と同一の送電線を対象物として地上試験を実施する。ここでは、山梨県甲州市の大菩薩峠付近の西群馬幹線1000 kV 超高压送電線を探知対象物とする。図4に、ミリ波レーダ設置箇所および高圧送電線鉄塔および送電線位置を示す。レーダ設置位置から最も近い送電線までの距離は約1,400 mである。また、高圧送電線は、鋼心ア

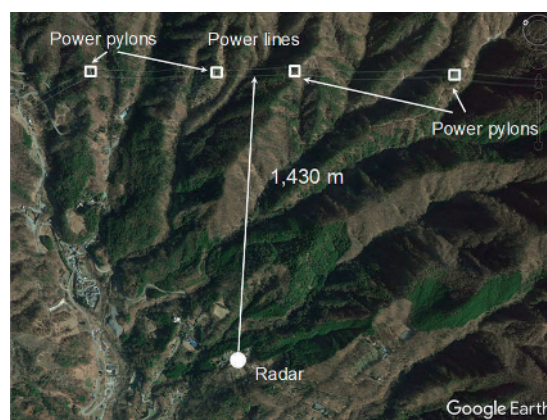


図4 地上試験におけるミリ波レーダ設置箇所および高圧送電線鉄塔・送電線位置

ルミより線等の810 mm<sup>2</sup>から940 mm<sup>2</sup>程度と推測され、構成は8導体送電線である。

まず、レーダシステムを地上約1 mの高さに設置し、パラボラ反射板アンテナの方位角および仰角を送電線からの反射電力が最大となるように手動で調整した上で、1次元ビート信号スペクトラムを取得した結果例を図5に示す。ここでは、インコヒーレント積分を4回に固定し、コヒーレント積分の回数を0回、8回および16回としている。約1,400 mから1,500 mまでの間に、2条の送電線からの反射が確認できる。反射波のピーク電力はそれぞれ約-99 dBm (手前側) および約-97 dBm (奥側) である。また、約1,000 mから1,200 m付近には森林等の地物からの反射が-110 dBm程度の反射電力で存在することが確認できる。

次に、同一のレーダ設置場所において、仰角を固定し、方位角のみを走査して2次元レー

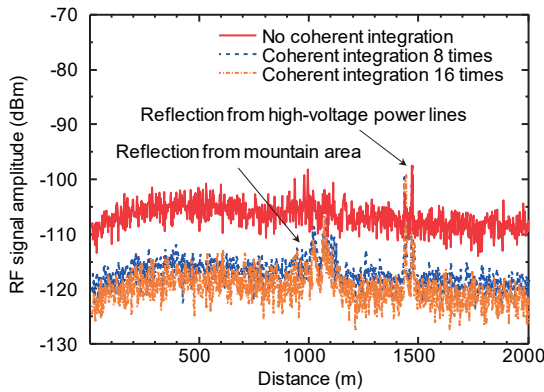
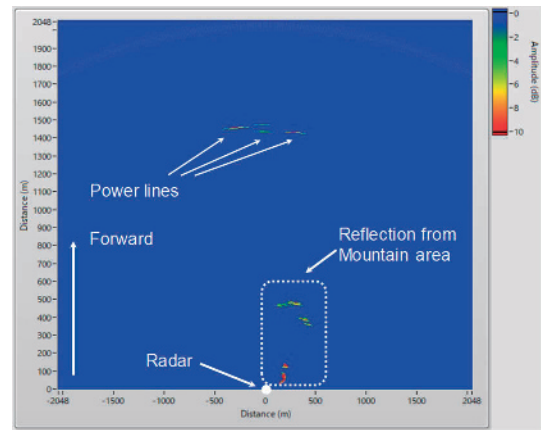


図5 高圧送電線測定時に得られた1次元ビート信号スペクトラム（インコヒーレント積分4回）

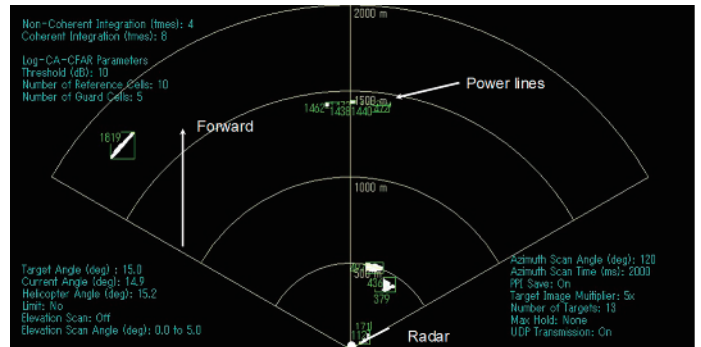
ダ PPI スコープを描画する。図 6 (a) に定誤警報確率処理（Constant False Alarm Rate, CFAR）後のレーダスコープ例を示す。なお、インコヒーレント積分およびコヒーレント積分の回数がそれぞれ4回および8回である。2条の高圧送電線からの反射が3箇所確認できる。また、1次元ビート信号スペクトラムと同様に地物からの反射が存在している。さらに、図 6 (b) は、図 6 (a) に対象物有無2値化と強調表示を行い、対象物抽出処理を行った結果である。ここで得られた対象物中心座標を送電線鉄塔データベースと重ね合わせるための合成表示ソフトウェアに送信する。

#### 4. 高圧送電線探知ヘリコプタ飛行試験

76 GHz ミリ波レーダシステムをヘリコプタに搭載し、飛行環境において送電線探知試験を実施する。搭載するヘリコプタは前述の図 1 に示す宇宙航空研究開発機構の川崎式 BK117C-2 ヘリコプタである。図 7 に、ミリ波レーダのレドーム設置状況を示す。スキッドに取り付けているステップの先端部分にレドームを設置する。レーダの探知方向はヘリコプタ前方であり、方位角走査最大±90度および方位角最大-10度から+20度までを最大探知距離 2,048 m で探知を行う。また、レーダデータはイーサネット経由で後席に設置したコンピュータに転送し、レーダ PPI スコープ画面および送電線鉄塔データベースとの合成表示画面を描画する。



(a) 定誤警報確率処理結果



(b) 対象物抽出処理結果

図 6 高圧送電線測定時におけるレーダ PPI スコープ表示例 (a) 定誤警報確率処理結果および (b) 対象物抽出処理結果

図 8 に、山梨県甲州市の大菩薩峠付近で実施したヘリコプタ飛行試験における高圧送電線鉄塔および高圧送電線の概観を示す。飛行は図中白線で示す経路であり、前述の地上試験実施場所のほぼ上空を通過し、同一の送電線を探知対象物としている。飛行経路は、送電線と直交する角度で接近し、送電線鉄塔の間を送電線上方 100 m の高さで 40 kt で通過する。なお、飛行試験時には方位角走査範囲を±30度、仰角走査範囲を-3度から-7度とする。また、方位角走査速度は毎秒 1 回である。なお、飛行試験の際には、地上試験と同様にインコヒーレント積分 4 回およびコヒーレント積分 8 回を行った上で CFAR 処理を行っている。

飛行試験において得られた送電線鉄塔および送電線鉄塔の最大探知距離は、それぞれ約

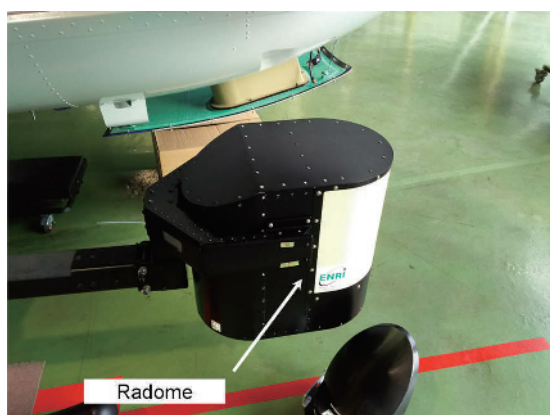


図7 ミリ波レーダのレドーム設置状況

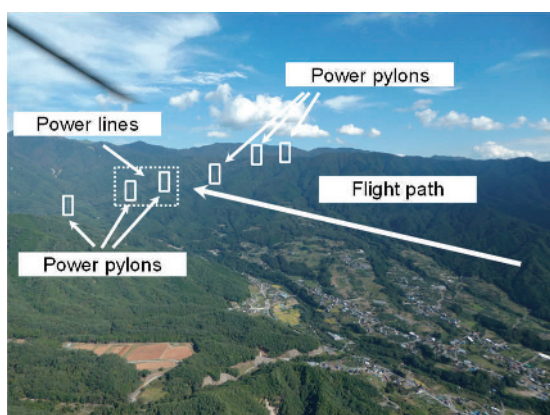


図8 ヘリコプタ飛行試験における  
高圧送電線鉄塔および高圧送電線の概観

1,970 m および約 1,520 m であった。この違いの主な要因の一つは、送電線鉄塔は垂直方向の構造物であるため、幅広い仰角反射特性を有するためである。一方、送電線は水平方向の構造物であるため、送電線鉄塔よりも狭いアンテナ仰角のみで反射が得られる。

さらに、図 9 に飛行試験における送電線鉄塔データベースとレーダ探知データの合成表示例を示す。図中の緑点が航空局提供の送電線鉄塔データベース中の送電線位置であり、赤線が送電線位置を示している。また、黄点がミリ波レーダの累積探知点である。本例は最大探知距離 2,048 m から約 500 m まで接近した際の結果を示しているが、40 点以上の送電線からの反射が取得できている。本画面は機上でリアルタイム描画可能なため、レーダ探知結果と送電線鉄塔データベースの活用により、航空機上における障害物情報の充実を図ることができることが明らかである。

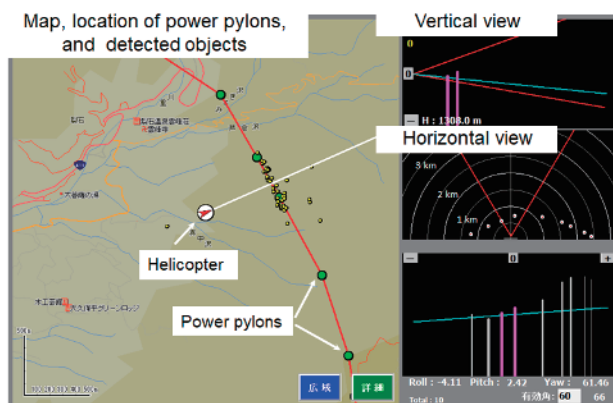


図9 飛行試験における送電線鉄塔データベースとレーダ探知データの合成表示例

## 5. まとめ

ヘリコプタ前方障害物監視用ミリ波レーダについて研究状況を議論した。飛行試験を想定した実験環境において地上試験を実施し、送電線探知性能を取得した。さらに、ヘリコプタにミリ波レーダを搭載し、送電線探知試験を実施した結果を述べた。送電線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である。今後、さらなる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を実施する。

## 参考文献

- [1] パイロット用送電線鉄塔警告システム取扱説明書，株式会社三新，Feb. 2012.
- [2] S. Futatsumori, et al., “Small transmitting power and high sensitivity 76 GHz millimeter-wave radar for obstacle detection and collision avoidance of civil helicopters,” Proceedings of the 42th European Microwave Conference, pp. 178-181, Oct. 2012.
- [3] ARIB STD-T48 2.2 版，特定小電力無線局ミリ波レーダ用無線設備標準規格， 社団法人電波産業会，2015.
- [4] S. Futatsumori, et al., “Evaluation of polarization characteristics of power-line RCS at 76 GHz for helicopter obstacle detection,” IET Electronics Letters, vol. 51, no. 14, pp.1110-1111, July 2015.