

9. マルチスタティックレーダによる
航空機監視
～OFC-PPSR～

本田純一， 大津山卓哉， 渡邊優人
監視通信領域



空港監視レーダ

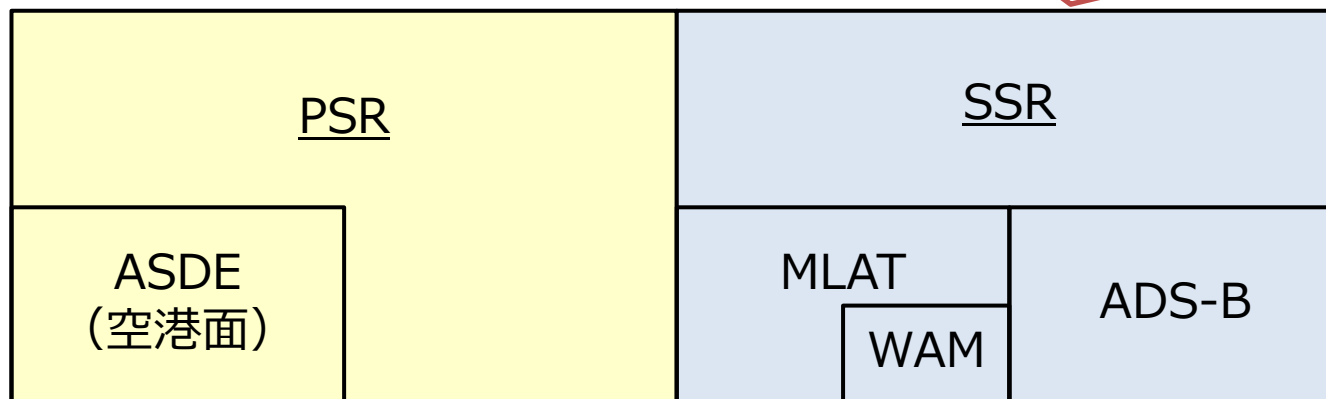
【管制用レーダ】
一次監視レーダ（PSR）、二次監視レーダ（SSR）



SSR

PSR

将来の主要監視技術



レーダの体系図

PSR: Primary Surveillance Radar
SSR: Secondary Surveillance Radar
WAM: Wide Area MLAT

ASDE: Airport Surface Detection Equipment
MLAT: Multilateration
ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast

PSR系とSSR系の分類

	PSR系		SSR系	
	名称	用途	名称	用途
単独型 (送受信 一体型)	PSR	空港周辺約 60NMの監視	SSR	空港周辺
	ASDE	空港面		
分散型 (受信機 分離型)	-	-	MLAT	空港面
			WAM	空港周辺
			ADS-B	全体



電波の反射を利用した監視システム

- 古典的なレーダ
- 2次元的な位置情報を提供



航空機搭載のトランスポンダから送信される信号を利用した監視システム

- 一種の通信システム
- 位置情報だけでなく機体識別番号および高度情報を付加

SSR系の問題とPSRの役割

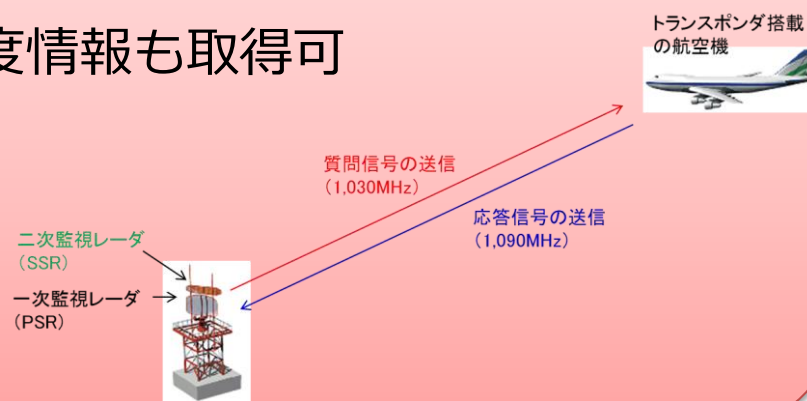
SSR系

【特徴】

- トランスポンダからの信号を利用
- 位置だけでなく機体識別番号や高度情報も取得可
- 応用技術
 - MLAT等の応用技術が存在
 - ✓ 高検出率、高更新率

【欠点】

- トランスポンダに頼った形態



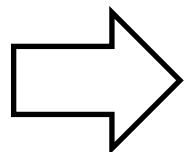
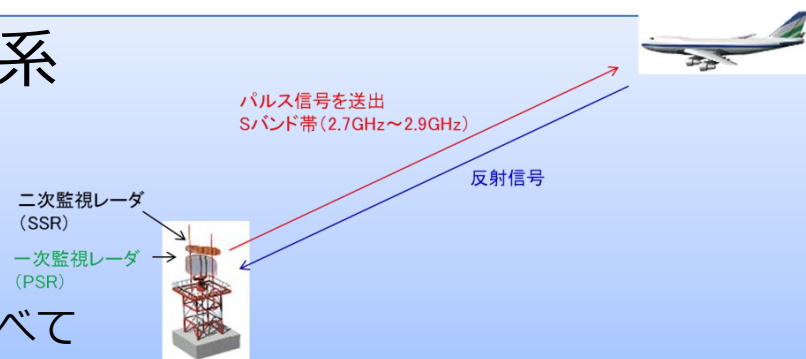
PSR系

【特徴】

- 機体側の装備に依存しない

【欠点】

- 低検出率、低更新率 ※MLAT等に比べて



PSRに代わる新しい監視システムはないか??

PSR応用技術

- **マルチスタティックレーダ** (MSPSR: Multi-Static Primary Surveillance Radar)
 - PSRの分散型システム

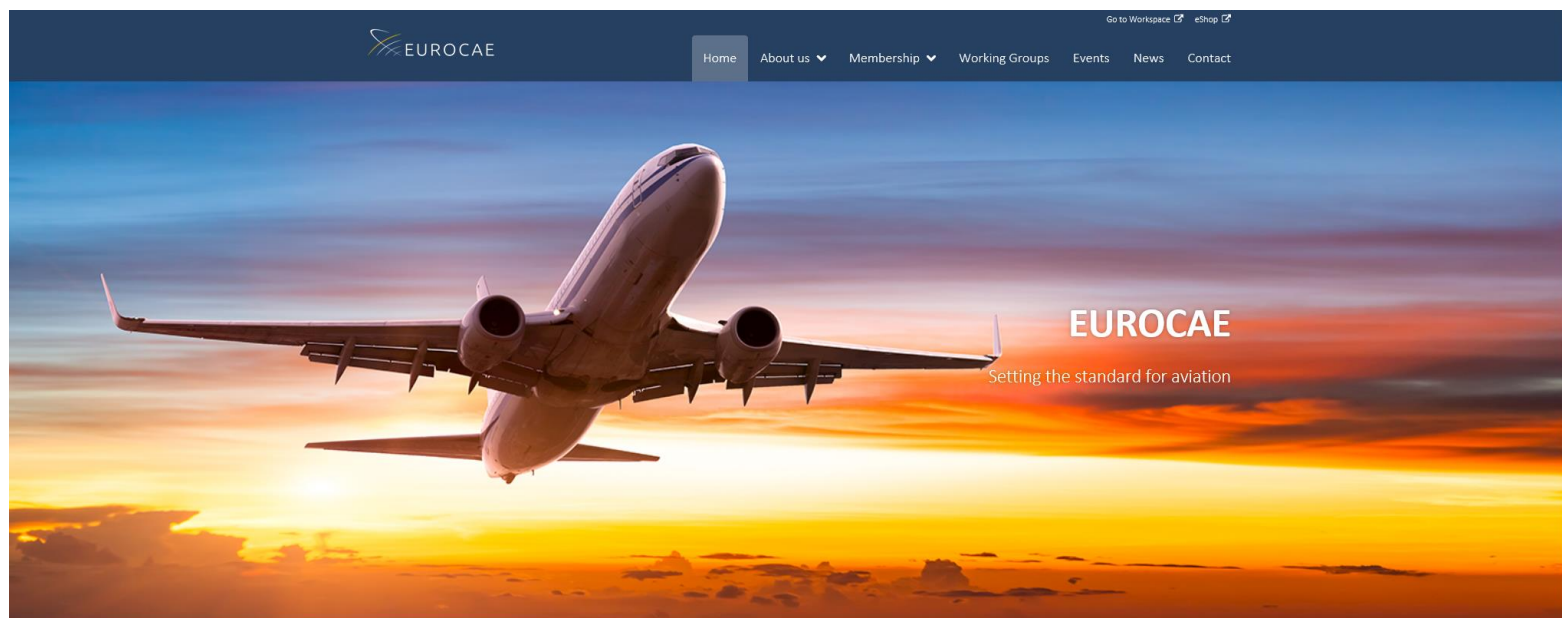


【特徴】

- 送受信分離型
- 信号源がレーダや航空用電波に限定されない
 - PSR/SSR等
 - 地上デジタル放送波
 - AM/FM
 - 移動体用基地局(3G/LTE)
 - GNSS
- 周波数資源の有効利用
- 監視覆域の拡大
- 更新頻度の向上
- など…

運用に資するシステムはない

独立非協調監視 (INCS: Independent Non-Cooperative Surveillance)



EUROCAEではINCSに関する
ドキュメントの作成を開始

EUROCAE is the European leader in the development of industry standards for aviation. We develop standards that the industry needs that...
Build upon the state of the art expertise of its members and address...
Are fit for purpose to be adopted internationally
Support the operational, development and regulatory processes

WG-103 / Independent Non-Cooperative Surveillance

WG-103 Independent Non-Cooperative Surveillance will develop a system agnostic Technical Specification for non-cooperative surveillance sensors – supplemented as necessary with technique (multi/bi-static or mono-static, passive and/or active) or frequency specific aspects (operating spectrum will influence the clutter and target modelling) that may necessitate annexes specific to different high-level sensor types. The Technical Specification will include guidelines to assist ANSPs procuring such Systems.

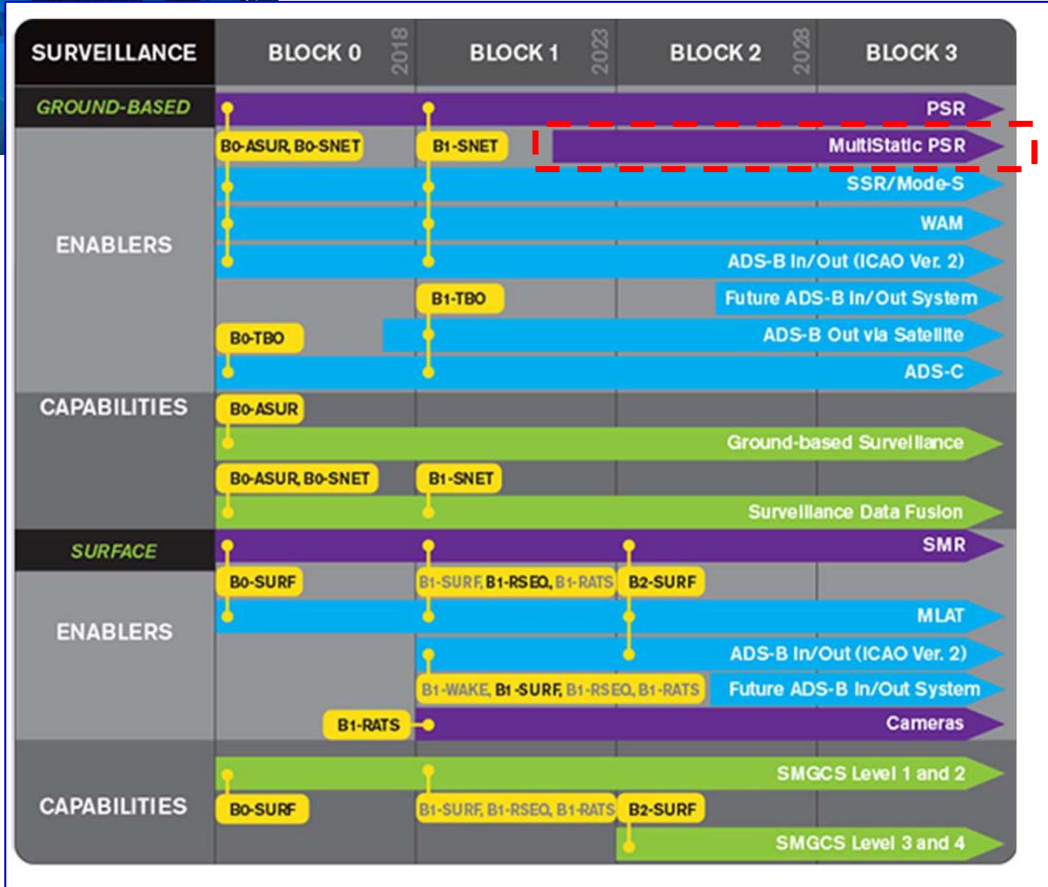
WG-103 is scheduled to deliver the Technical Specification by Q4/2017.

Chairperson: Tim Quilter, Aveillant

Secretaries: Andrew Desmond-Kennedy, EUROCONTROL and Vojtech Stejskal, ERA
Technical Program Manager: Alexander Engel, alexander.engel@eurocae.net

特に欧州では、周波数資源が逼迫しているため、航空用以外の電波を利用した
MSPSRに関する議論が多い

ICAO GANP (Global Air Navigation Plan)



国際民間航空機関による監視関係
のロードマップ
※見直しの可能性あり

研究目的

【大目的】

マルチスタティックレーダ(MSPSR)による航空機監視のための技術開発と性能評価

【目標】

- 既存システムを有効活用した監視システムの開発
- 他目的電波を利用した監視システムの開発

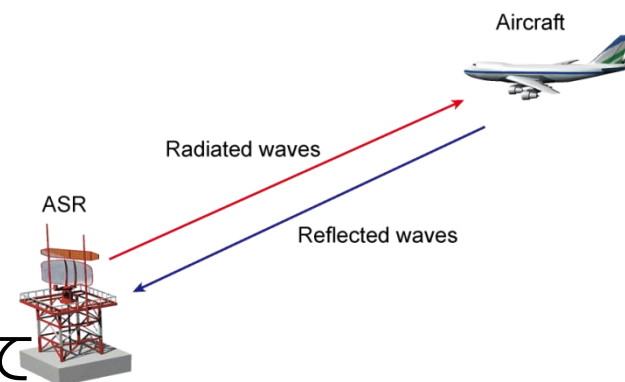
【発表概要】

- 光ファイバ接続型受動型一次レーダ(OFC-PPSR: Optically Connected Passive Primary Surveillance Radar)の提案
 - 現行PSRの監視覆域拡大(拡張)と更新頻度の向上を目指す
 - 既存信号の有効利用

開発の経緯

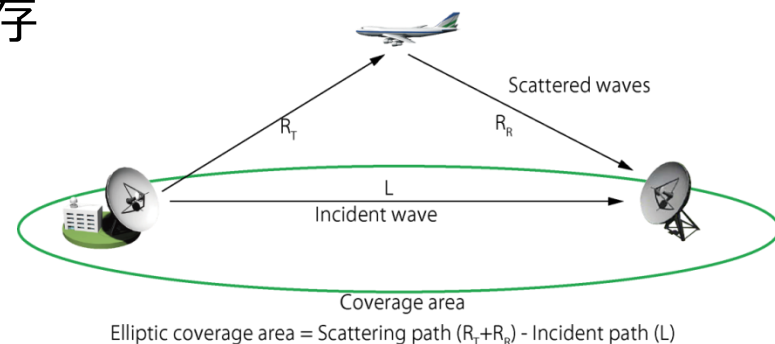
【現行PSR】

- 送信機と受信機が一体型
 - 受信機側で送信波形を生成する
 - 送信情報（スタガ、アンテナ方位）が既知
 - 信号処理が容易
- 低検出率、低更新率 ※MLAT等と比較して
 - 散乱（反射）電力に依存
 - アンテナの回転周期（15rpm）に依存

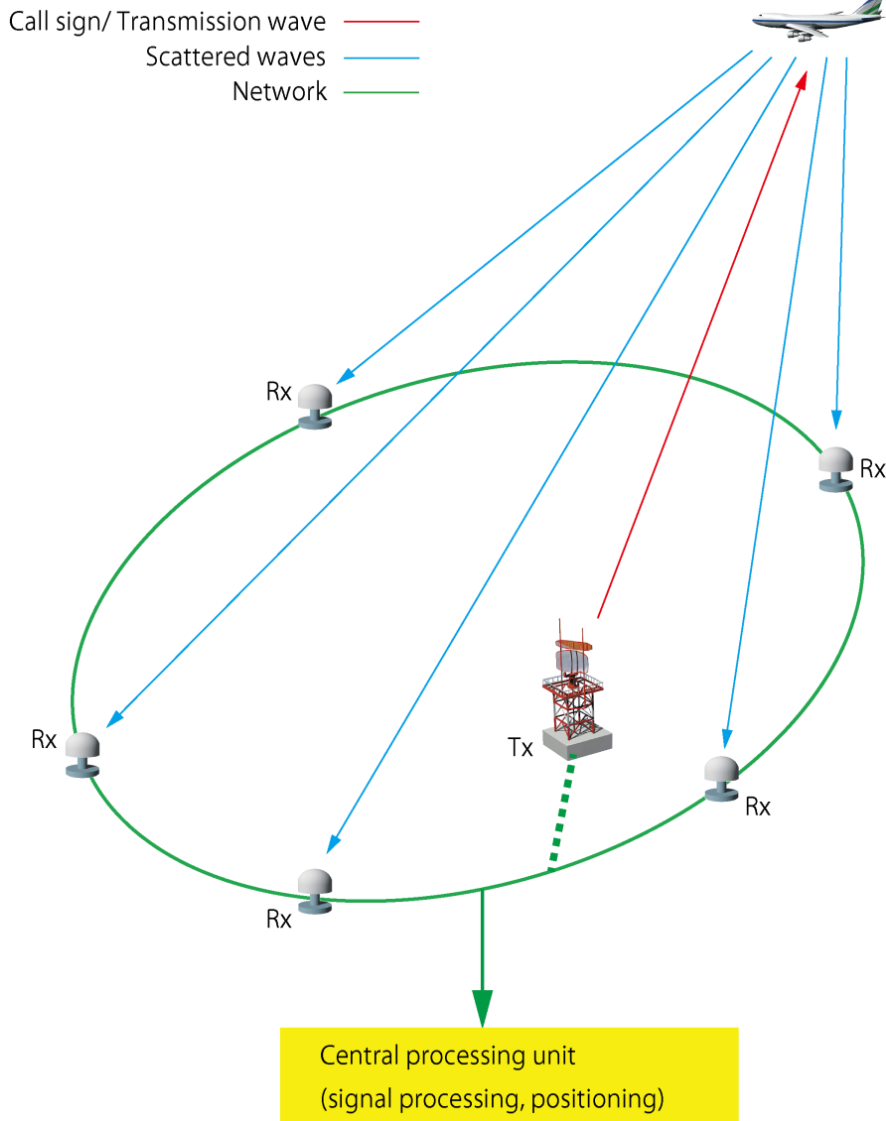


【バイスタティックレーダ】

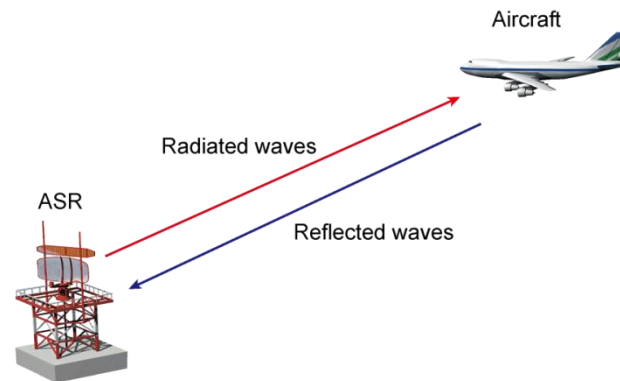
- 送受信機分離型
 - 送信情報が未知
 - 送信情報を解析する機構が必要
 - ※送信電波が常に検出できる必要あり
- PSRでは検出できないエリアを補間可能（だろう）



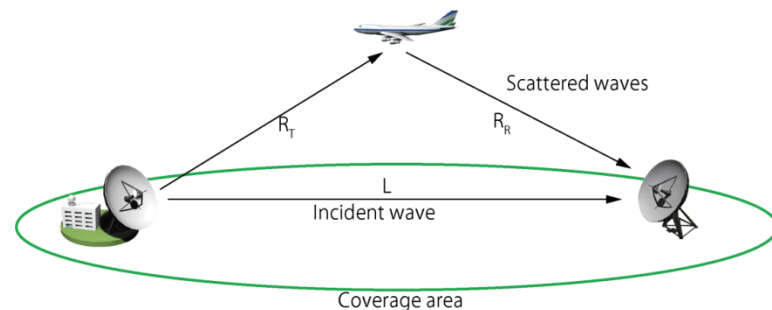
マルチスタティックレーダ



マルチスタティックレーダのイメージ図



現行PSRのイメージ図



Elliptic coverage area = Scattering path ($R_T + R_R$) - Incident path (L)

(パッシブ) バイスタティックレーダのイメージ図

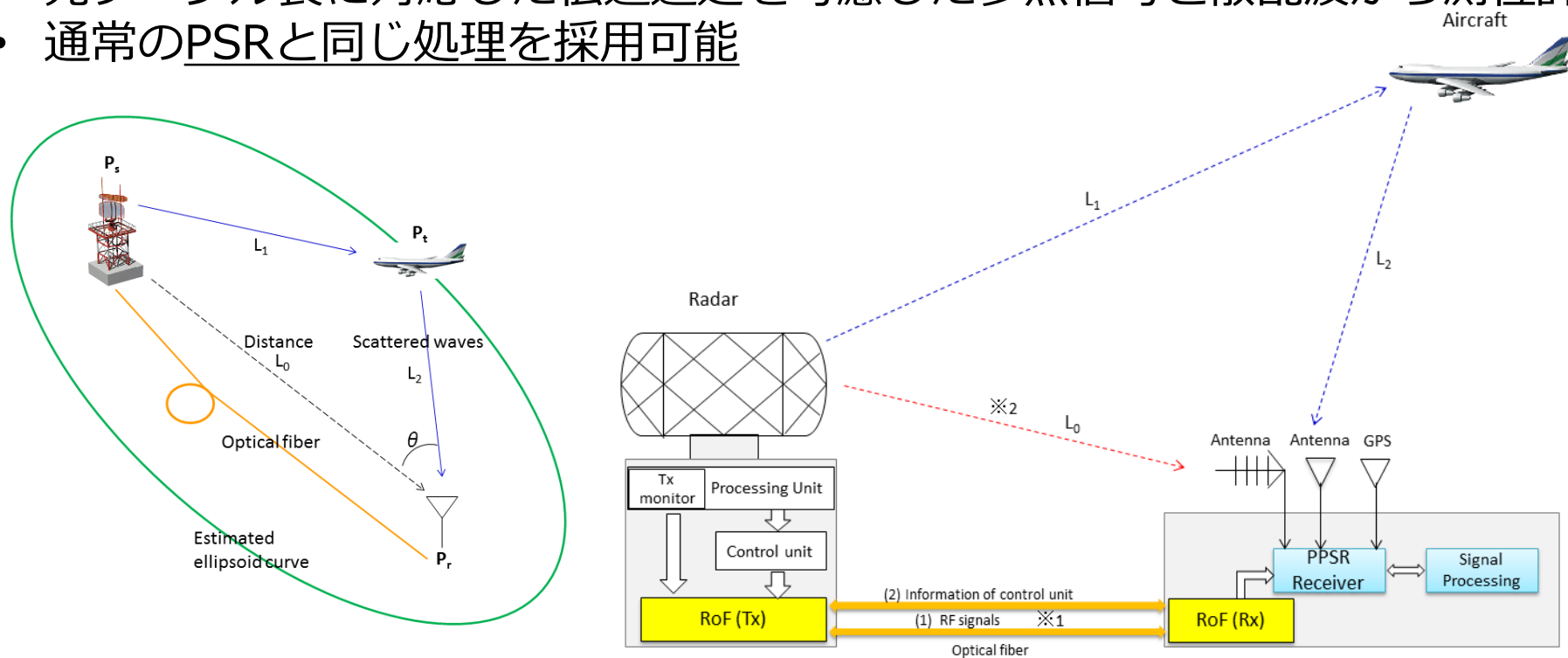
光ファイバ接続型受動型一次レーダ（OFC-PPSR: Optical-Fiber-Connected Passive PSR）を提案

- OFC-PPSRはPSRの監視覆域拡張や代替を目指した監視システムで電子研が提案した新しいレーダコンセプト
- 直接波用の受信アンテナは装備する必要がない
- 光ファイバ無線（RoF: Radio over Fiber）技術を応用
 - 複数の受信機からのRFもしくはIF信号について光変調することにより、光ファイバを用いて少ない減衰で長距離伝送が可能
 - 信号の集約が可能
 - 同軸ケーブルに比べてはるかに少ない減衰で伝送可能



OFC-PPSRの基本構成

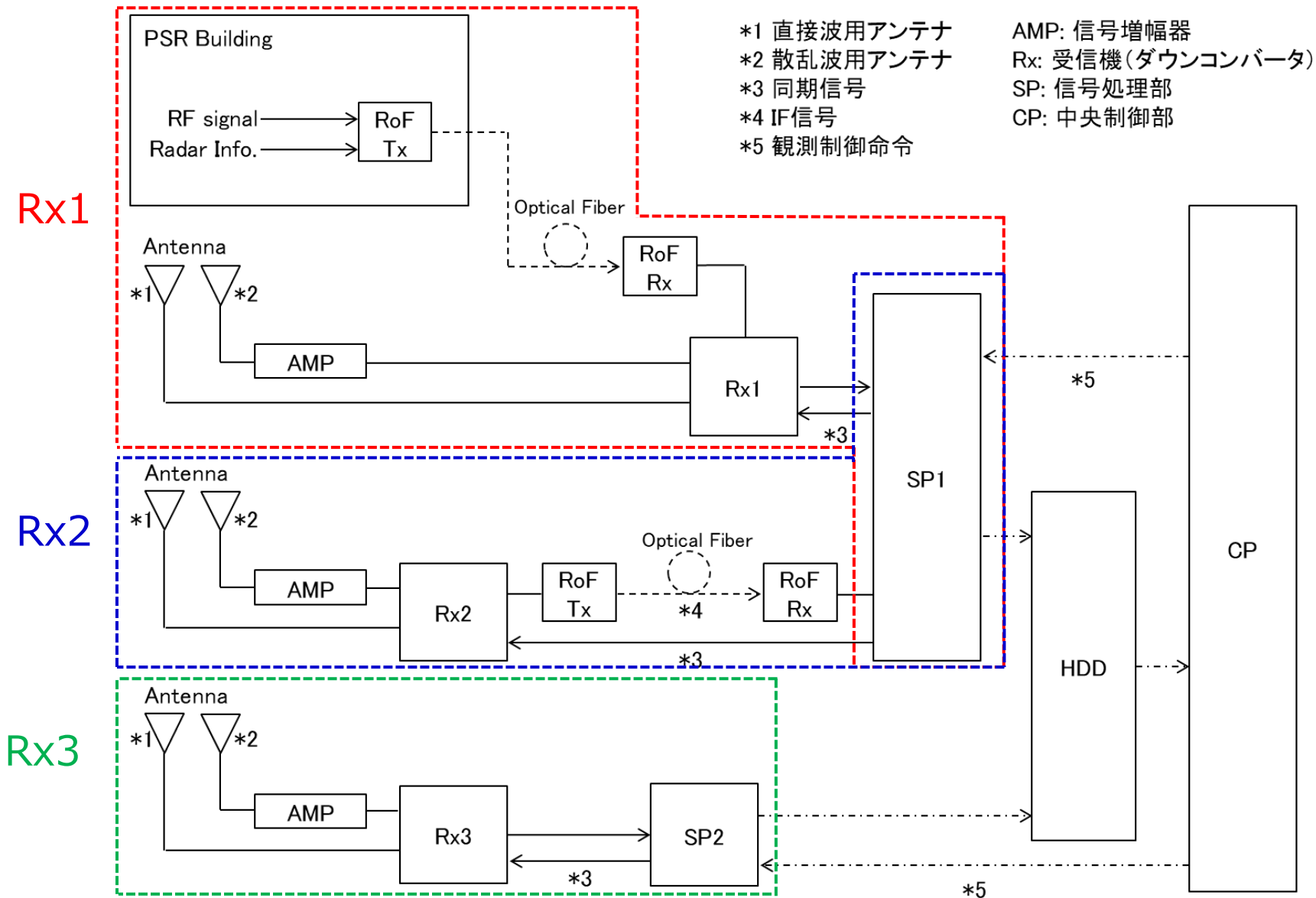
- RoFによりレーダ送信局からの送信信号を参照信号として（直接）得る
 ※直接波が受信できなくても良い!
 ※大気伝搬する信号より高いS/Nを維持
- 局部制御監視装置から方位信号等の補足信号（デジタル情報）も取得可能
- 光ケーブル長に対応した伝送遅延を考慮した参照信号と散乱波から測位計算
- 通常のPSRと同じ処理を採用可能



※1 直接波に相当する参照信号

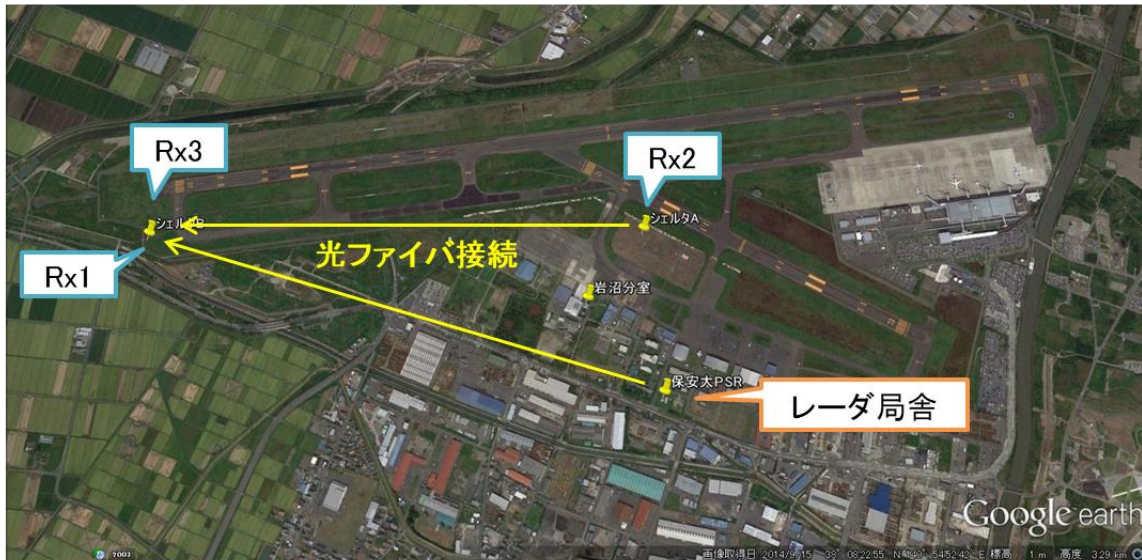
※2 直接波。RoFを利用しないときに使用

試作したOFC-PPSRの全体構成図

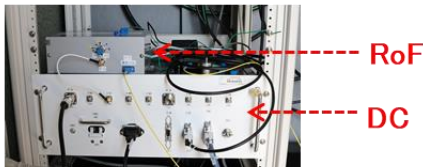


実験環境

DC: ダウンコンバータ
SP: 信号処理部



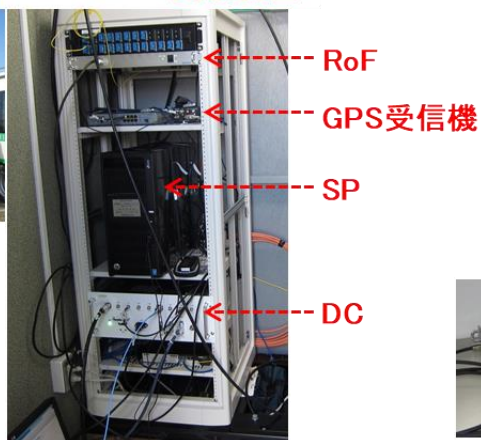
Rx2



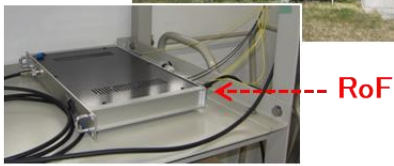
Rx3



OFC-PPSR実験装置



Rx1



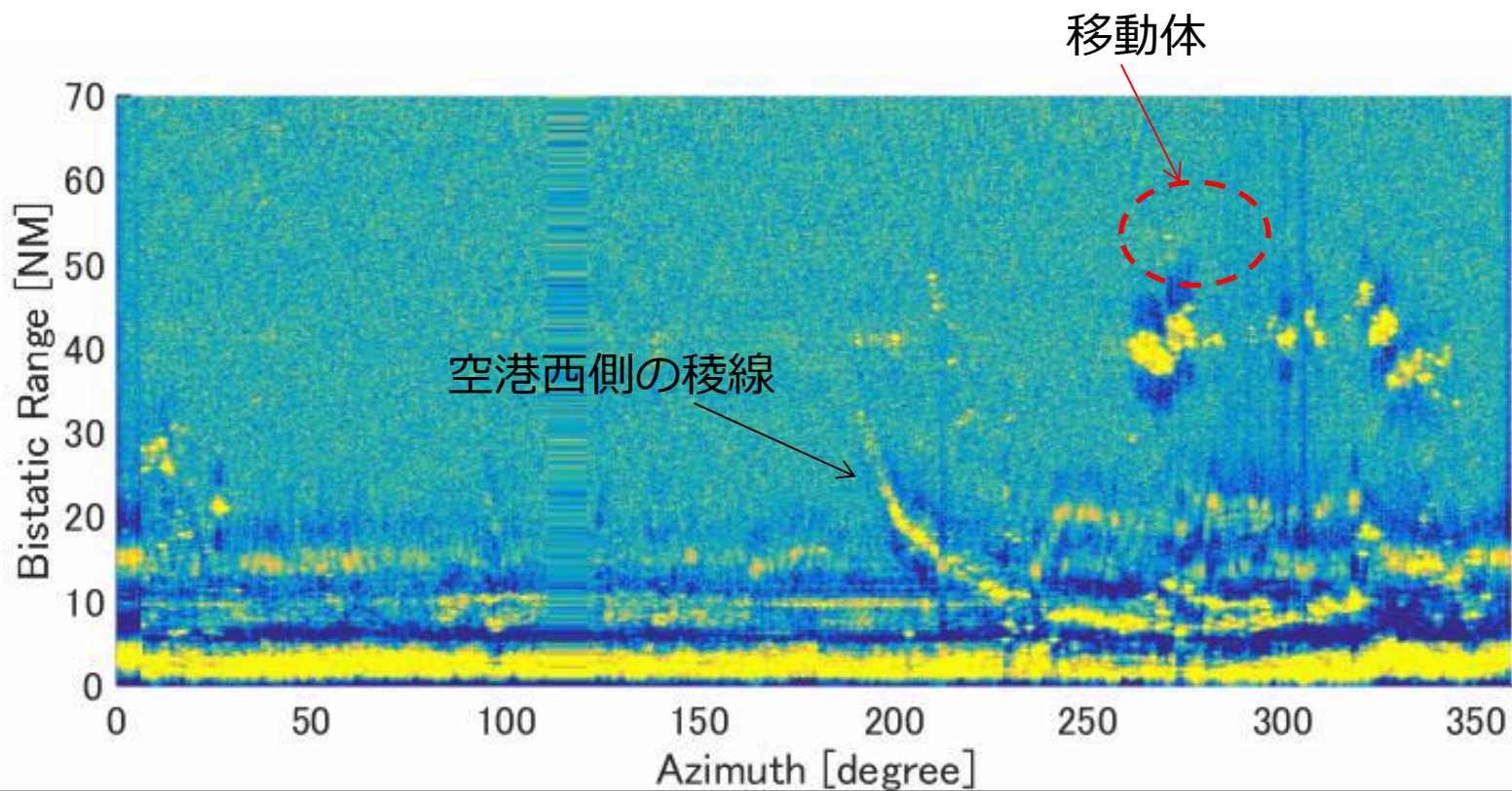
実験用車両



測定結果 (Rx1)

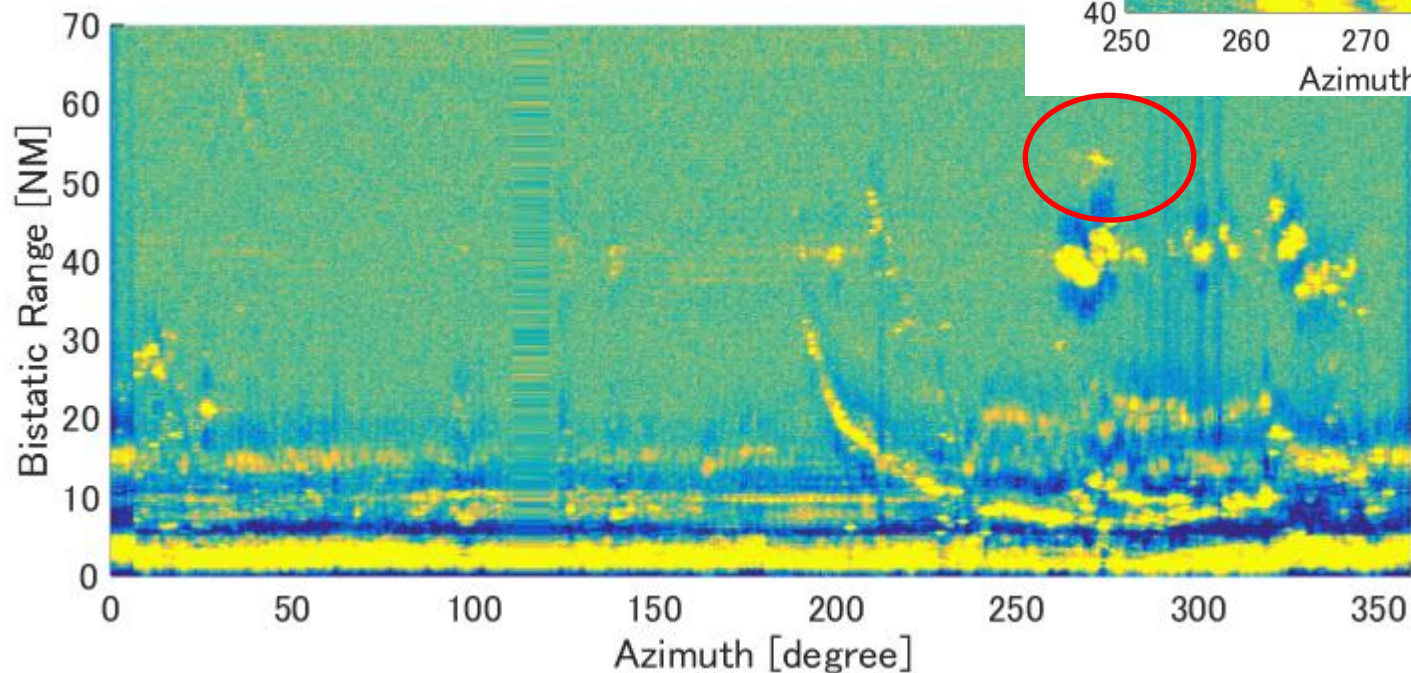
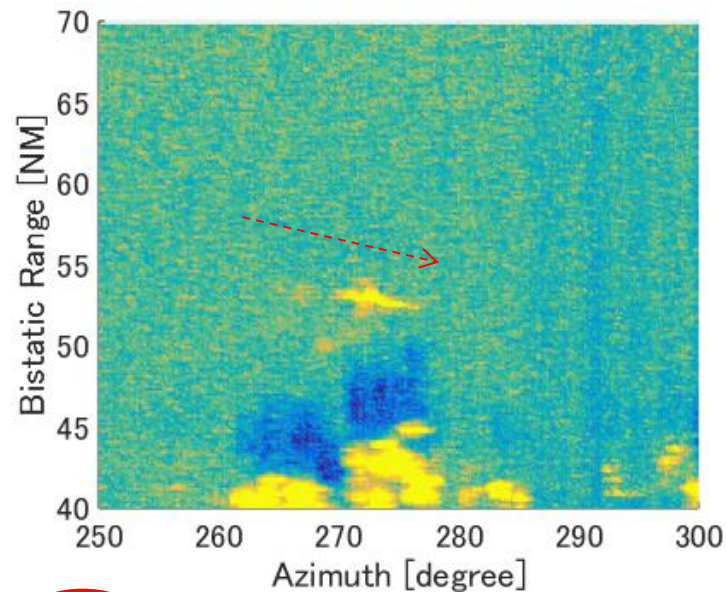
測定方法： 参照信号をRoFで取得

受信アンテナ： 標準ホーンアンテナ



測定結果 (Rx1重ね書き)

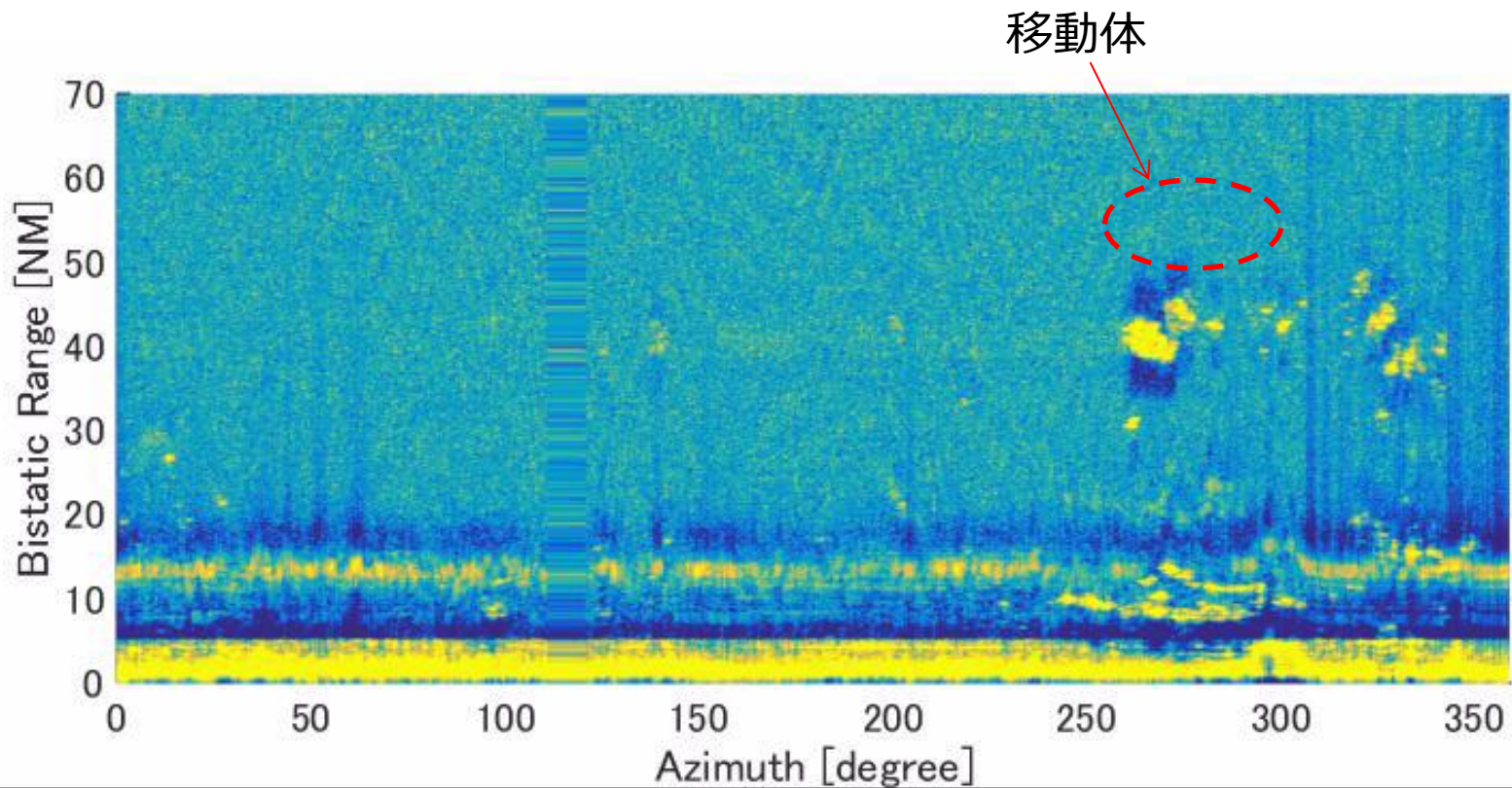
移動体からの散乱波 (エコー) が確認できる



測定結果 (Rx2)

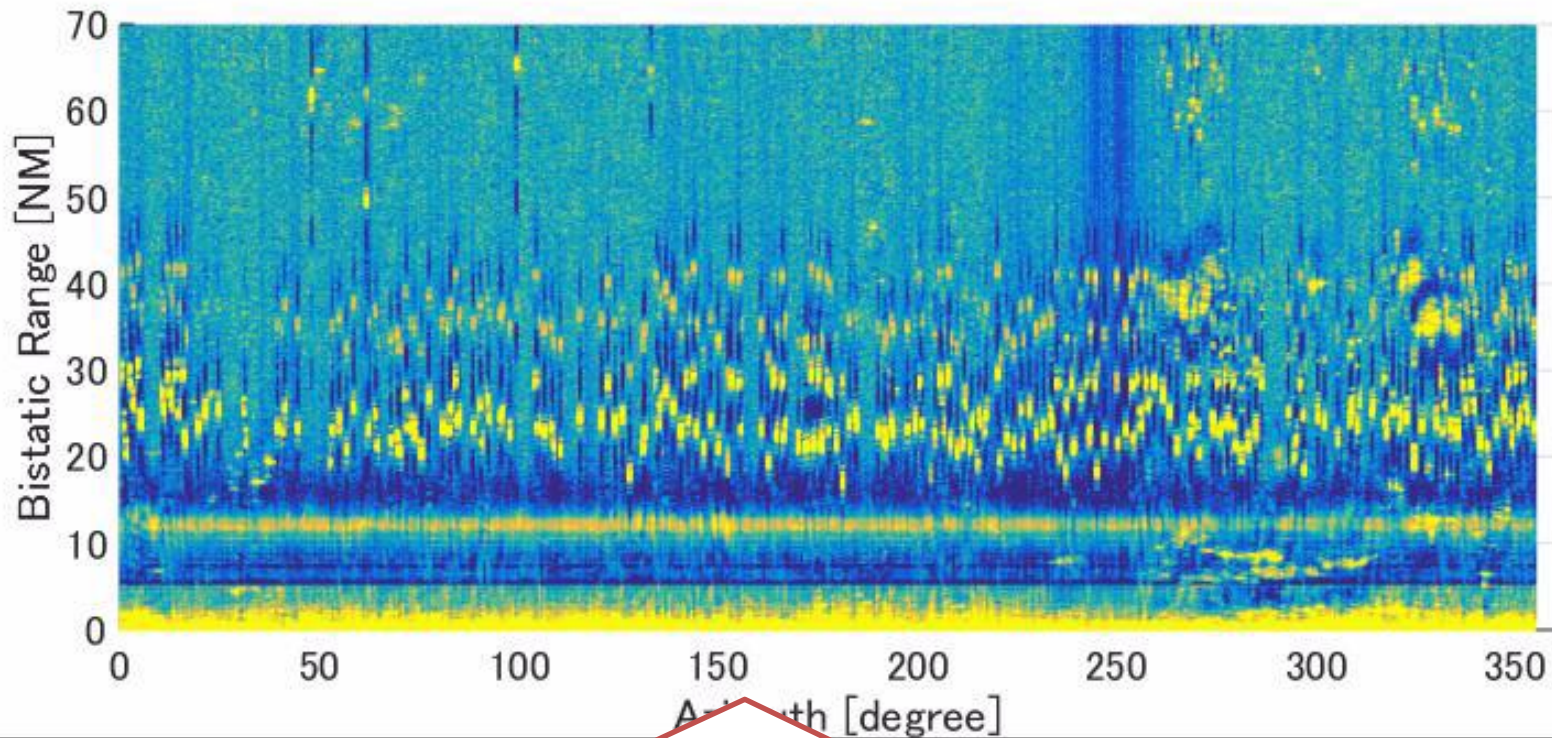
測定方法： IF信号のRoF伝送

受信アンテナ： 標準ホーンアンテナ



測定結果 (Rx3)

測定方法： 直接波アンテナ利用方式
受信アンテナ： 無指向性アンテナ



直接波を安定して取得できていないため、信号が乱れている (RoFの優位性が明らか)

測定結果とADS-Bの比較

- Brank Page
(著作権の関係で図は削除)

※ADS-Bとの比較によって、移動する物体が航空機であることは確認済

まとめ

- MSPSRという新しい監視システムについて概要説明
- 電子航法研究所で進めているMSPSRの一つの研究成果・進捗について紹介
 - **光ファイバ接続型受動型監視（OFC-PPSR）**の基本コンセプトと試作した実験システムを紹介
 - RoFを採用した新しいレーダのコンセプト
 - 現行PSRと同様の動作が可能
 - ADS-Bとの比較により航空機が検出できることを確認
- 今後の課題
 - リアルタイムシステムの開発
 - SSR等のレーダ情報との比較による精度検証を継続
 - マルチスタティックを見据えた統合処理方法の検討
 - 航空用信号以外を用いた監視システムの検討

謝辞

- 本研究にご協力いただきました航空保安
大学校岩沼研修センターおよび仙台空港
関係者皆様に感謝申し上げます