資料SAR作5-1

9GHz帯合成開口レーダーの検討状況について

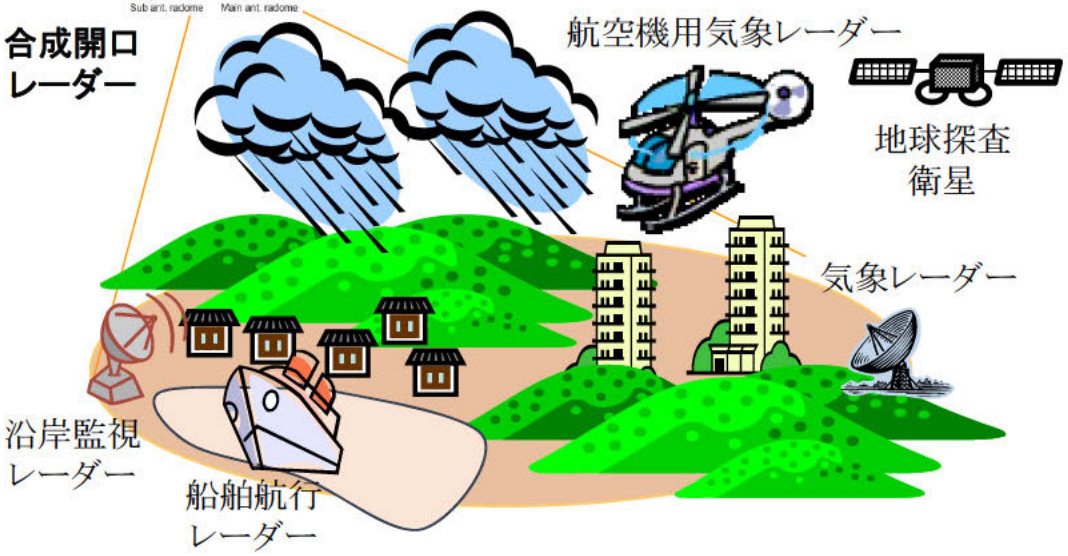
平成29年11月1日
事務局

9GHz帯航空機搭載型合成開口レーダーシステムの技術的条件の検討

- 我が国では、東日本大震災（H23.3.11）、御嶽山噴火（H26.9.27）や平成28年熊本地震（H28.4.18）など被害の状況把握が危険かつ広範囲にわたる大規模な自然災害が多発。
- 航空機に搭載した9GHz帯合成開口レーダー（SAR）システム※1は、夜間や噴煙など視界がきかない状況下においても、上空から電波を用いて広範囲に被災・災害の情報収集が可能であり、官民で実用化に向けた実用検証を実施※2。
- 一方では、気象レーダーや船舶航行レーダーなど各種レーダーシステムが運用。今般、航空・海上無線通信委員会において、それらのシステムとの周波数共用に関する技術的検討を行う。

※1 合成開口レーダー（SAR：Synthetic Aperture Radar）：地上に向けて電波を発射し、その反射波を受信側の合成開口の信号処理技術を用いて対象物を高い分解能で取得可能なレーダー。

※2 現在、国の機関、情報通信研究機構、民間企業が実験試験局を開設。
総務省は、「小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの研究開発（平成24年度から平成26年度）」、「9GHz帯航空機搭載型合成開口レーダーの周波数有効利用技術に関する調査検討（平成24年度から平成25年度）」で検討を実施

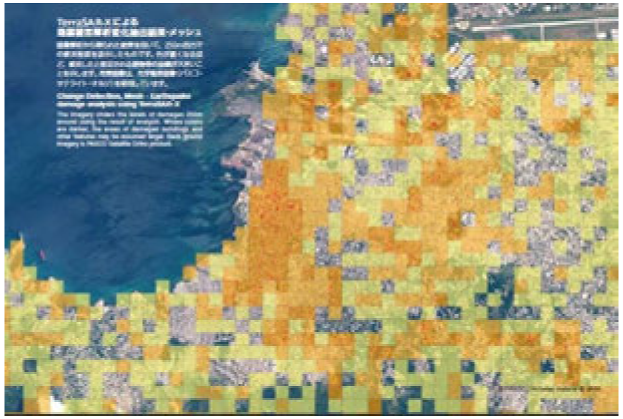


9GHz帯各種レーダーシステム概念図

Pi-SAR2による東日本大震災直後の仙台空港付近の撮影画像

9GHz帯航空機搭載型合成開口レーダーシステムの需要動向

1　農業分野（水稲作付の把握）
2　運輸分野
　（1）海水モニタリング
　（2）オイルスピル
3　地形図作成分野
4　被災状況把握
　（1）被雲時・夜間利用
　（2）建物
　（3）土砂
　（4）浸水・洪水
5　国土モニタリング分野
　（1）地殻変動モニタリング
　（2）火山監視
　（3）海岸線モニタリング
6　安全保障分野（船舶検出）



Legend (damage class)

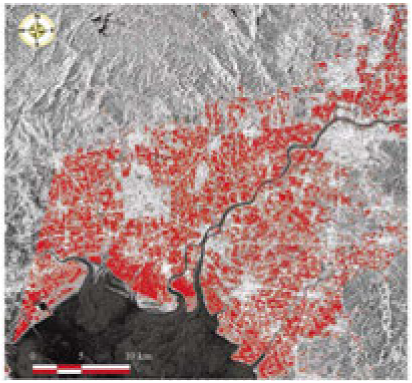
Slight　Moderate　Severe　■ Detected changed area

【Port-au-Prince, Haiti】

Acquisition date/time: 13 Oct 2009 10:44(UTC) and
20 Jan 2010 10:44(UTC)
Incidence angle: 39.1 deg.(Descending)
Acquisition mode: StripMap
Product type: EEC
Polarization: HH
Spatial resolution: 3.05 m (azimuth), 3.00 m (range)
Pixcel spacing: 1.25 m

TerraSAR-Xによるハイチ地震の
地震被害解析（出典：株式会社パスコ）

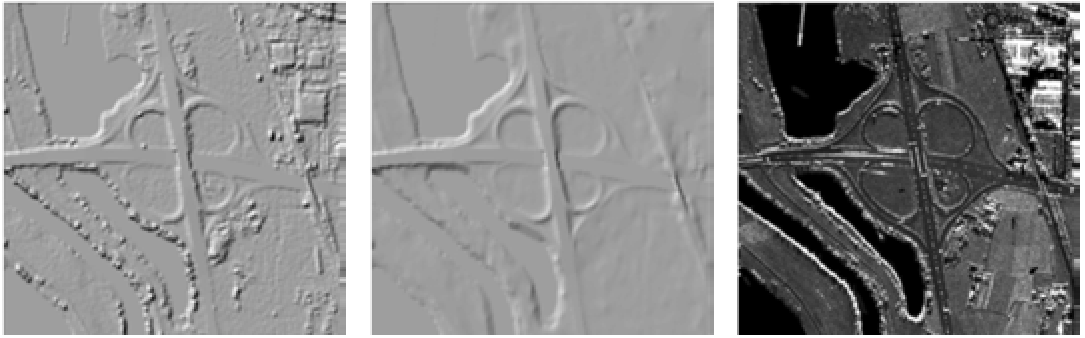
（左）RADARSAT−2
データによる水稲作付
地の抽出結果(2000年）



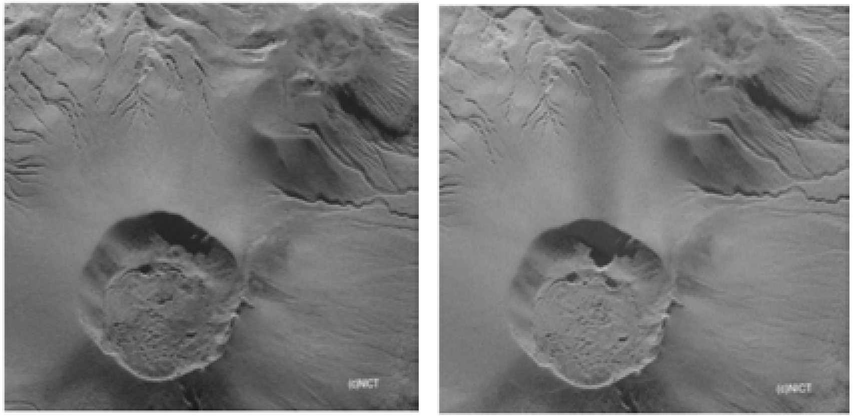
（右）RADARSAT−2
データと光学センサ併
用による水稲作付地の
抽出結果(2000年）

※赤色領域部分が抽出された水稲作付地

（出典：石塚直樹：水稲作付面積計測への合成開口
レーダー(SAR)の利用, 農業環境技術研究所）



IFSARを用いたDEM作成（左）DSM（中）DTM（右）オルソ化画像
IFSAR：InterFerometric Synthetic Aperture Radar　（出典：INTERMAP社）

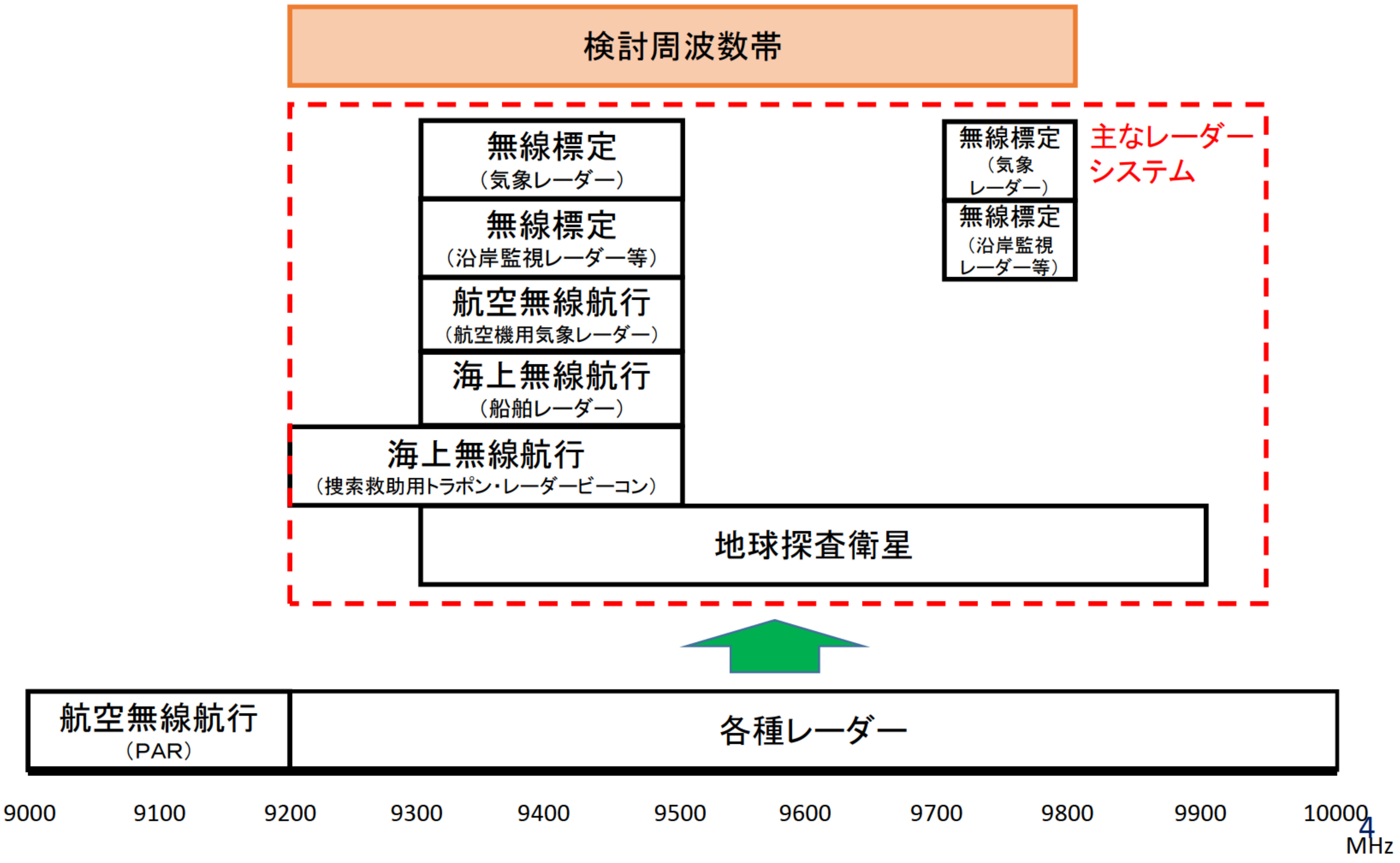


霧島新燃岳噴煙下レーダー画像の計測（左：2011/2/26 右：2011/3/9, Pi-SAR2）
（出典：情報通信研究機構、霧島新燃岳噴煙下レーダー画像の計測、
http://www2.nict.go.jp/aeri/plan/site/old/shinmoe_dake/index.html）

9GHz帯航空機搭載型合成開口レーダーシステムの国内動向

	A	B	C	D
方式	パルス方式	パルス方式	FMCW方式	FMCW方式
中心周波数	9.55GHz（9.3～9.8GHz）	9.45GHz（9.2～9.7GHz）	9.4GHz（9.25～9.55GHz）	9.6GHz（9.45～9.75GHz）
周波数帯域幅	500MHz	500MHz	300MHz	300MHz
送信電力	8kW（尖頭電力）	1kW（尖頭電力）	10W	10W
EIRP	63.5dBW	47.1dBW	30.0dBW	30.0dBW
偏波	HH,VV,HV,VH	HH,VV,HV,VH	HH	HH,VV,HV,VH
オフナディア角	10～65°	45～75°	55～75°	55～80°
飛行速度	200m/s	120m/s	72m/s	100m/s
飛行高度（運用高度）	13,000m以下（8,382m）	8,000m以下（3,048m）	5,000m以下（3,048m）	8,000m以下（3,048m）

9GHz帯の周波数使用状況



航空機搭載型合成開口レーダーシステムと共用となるシステムの検討状況

【共用検討実施中のシステム】

システム名（主な利用者）	進　捗
気象レーダー	・過去の測定データにより、晴天時は共用可能 ・更に雨天時のデータを解析し、共用条件を検討してく予定
BS/CS受信設備	・過去の技術試験事務の結果を基に共用条件を暫定的に評価 ・放送事業者の要望により、当該条件について評価試験を実施予定
精測進入レーダー	・航空局から追加検討の依頼有

【結論が出ているシステム】

システム名（主な利用者）	機　関	結　論
航空機用気象レーダー	三菱電機	・第4回での共用検討の結果、SARの運航への影響は限定的で、共用することは可能
地球探査衛星	三菱電機	・第2回の共用方針で特段のコメントなし。これまで共存してきており、またITU-Rでも存在性を認知されている
船舶レーダー等	アルウェットテクノロジ	・第2回での共用検討の結果、SARは他の船舶レーダー等と同様の干渉源と見なせるという結論

航空機搭載気象レーダーの諸元

- 航空機搭載気象レーダーに使用されている代表的なレーダシステムは以下の通り。

メーカー	A社	B社	B社
中心周波数	9,330MHz	9345MHz	9375 ±25 MHz
走査範囲(Scan)	±90° (想定)	±90°	±60°
走査範囲(Tilt)	±15°	±15°	±15°
レンジ	320NM	320NM	300NM
受信感度	-124dBm (NF3.8dB,Bw32MHz)	不明	-118dBm
送信電力	150W.nom	125W. nom	10kW .nom
Gain	34.5dB.nom	33dB(A) - 35dB(B)	26.5(10”)-28dB(12”)
パルス幅	1 - 25μs	1.5, 6, 18 μs	1, 2 μs
PRF	100Hz ～1,000Hz(想定)	100Hz ～1,000Hz(想定)	100Hz ～1,000Hz(想定)
Beam width	10 degrees	10deg 程度	10deg – 7.9deg

航空機搭載気象レーダーとの共用検討

1　航法気象レーダのS/Nが0dBとなる場合のSARの位置範囲

飽和レベルには到達しないが、航法気象レーダの全レンジ内にSARは干渉する可能性あり。SAR観測オフナディア角が大きいほうが干渉。

2　航法気象レーダが通常受信する気象クラッタのレベルに対して、SARからの干渉波の大きさを比較

SARの干渉波は、気象クラッタより大きな信号となりえる。干渉した場合は、気象脅威よりも強い信号として現れる

3　シミュレーションによりSAR干渉波が、航法気象レーダへの現れ方を分析

航法気象レーダに、SAR干渉波は、破線の放射線状に表示される。気象現象とは形状が大きく異なる。近距離でFMCW方式のSARが干渉する場合は、10%の占有率で、一時的に小規模気象現象が干渉波に埋没する可能性がある。

↓

SARから航法気象レーダへの干渉は避けられず、レーダ画面に、干渉波が重畳する形で影響を与える。しかし、重畳するSAR干渉波は、気象クラッタとは明らかに異なる形状であり、気象現象と誤認することはほとんどないと推測する。特に、大きな気象脅威を誤認することはないと思われ、<u>運航への影響は限定的で、共用することは可能</u>である

地球探査衛星合成開口レーダーとの共用検討

・地球観測衛星側のノイズレベルは超えるが、合成開口時間に差があることから、信号処理の段階で干渉波が見えなくなると推測

・衛星側に干渉するコンフィギュレーションとしては、同じ領域を両センサが同時に観測する場合のみ

・衛星画像への影響

衛星から見た場合、航空機SARはほぼ止まっていると考えられることから、偶然重なった観測領域はほぼ航空機SARのフットプリントに相当
ただし、非同期の関係になることから、衛星側の観測信号とは無相関の信号となる
混信レベルはノイズレベルより40dB程度高いが、近年の衛星側の高分解能SARにおける信号処理利得は、40dBを大きく超えるため、ノイズレベル程度となり画像上問題とならないと推測

↓

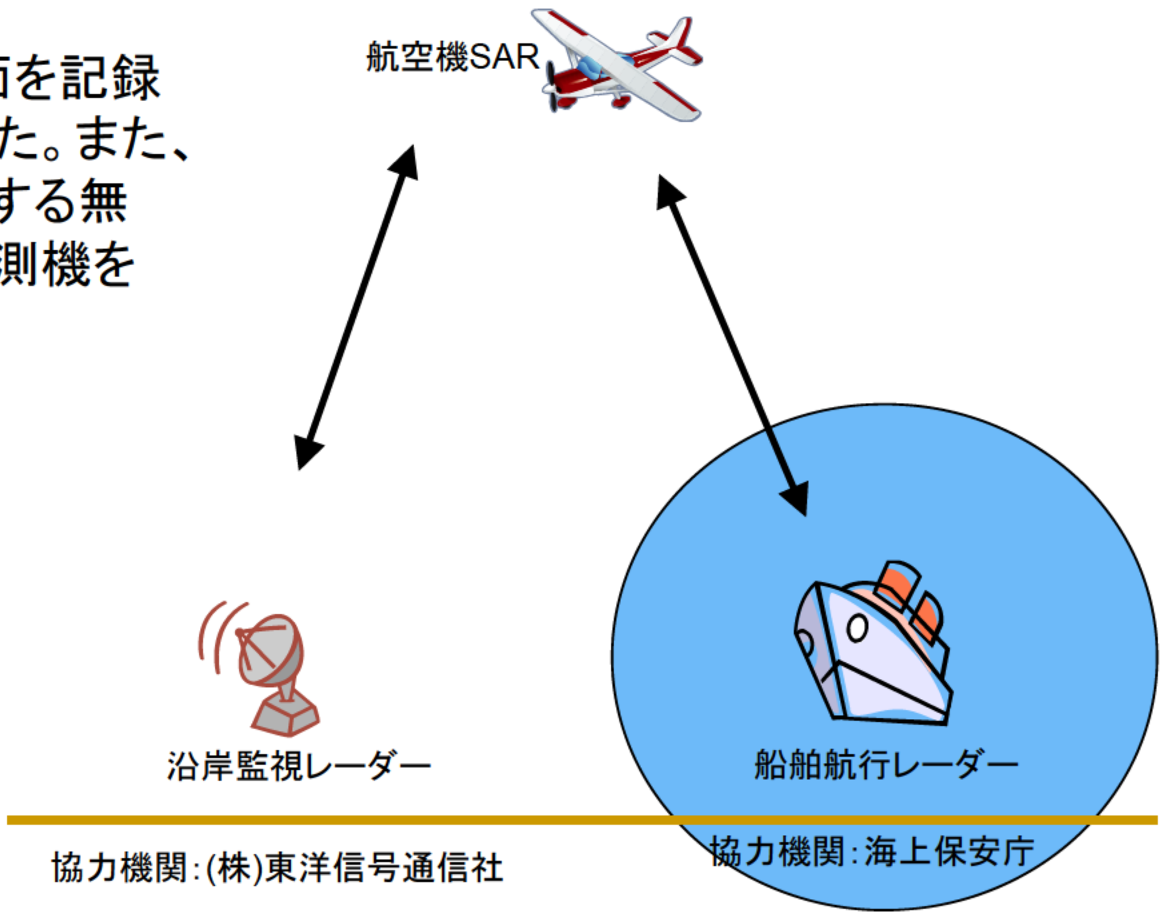
地球探査衛星（能動）と航空機SARとの共用時の<u>影響は軽微である</u>

船舶レーダーとの共用検討①

フィールド試験

運用中の船舶レーダーシステム付近を航空機SARで撮影し、与干渉及び被干渉のデータを収集した。なお、フィールド試験の航空機SARの試験条件は、パルス方式のH偏波、V偏波、FMCW方式のH偏波、V偏波の4ケースで実施している。

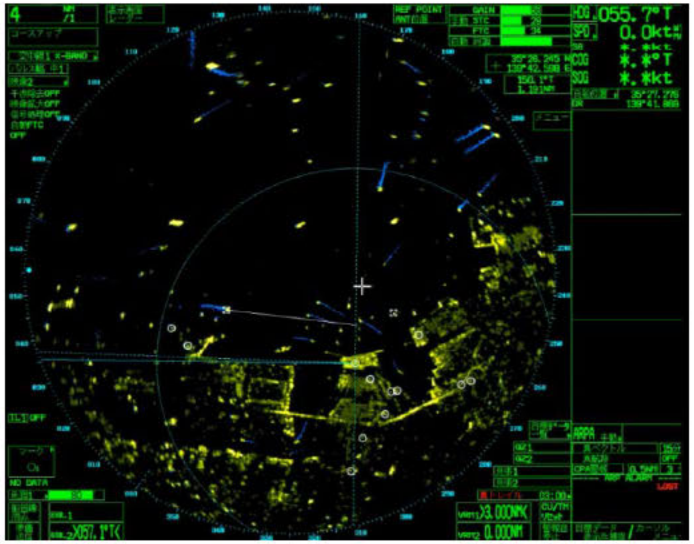
フィールド試験では、表示部のレーダー画面を記録するためにレーダー画面記録端末を接続した。また、干渉波入力レベルを確認するため、対象とする無線システムの近辺にホーンアンテナ及び計測機を設置した。



船舶レーダーとの共用検討②

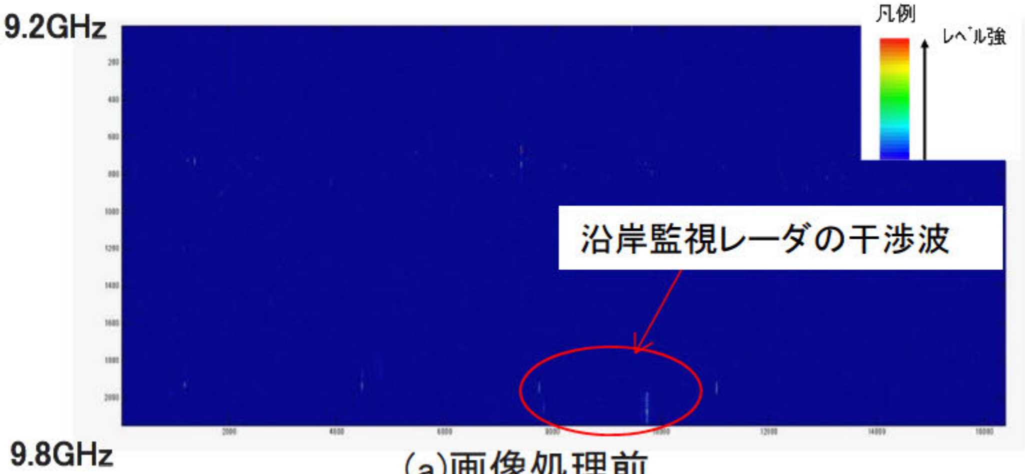
1　沿岸監視レーダー

与干渉：すべての試験条件において沿岸監視レーダーの画面に航空機SARの信号は現れなかった
被干渉：航空機SARの画像処理前データでは、沿岸監視レーダーの干渉波が確認されたが、画像処理後は、確認できなかった

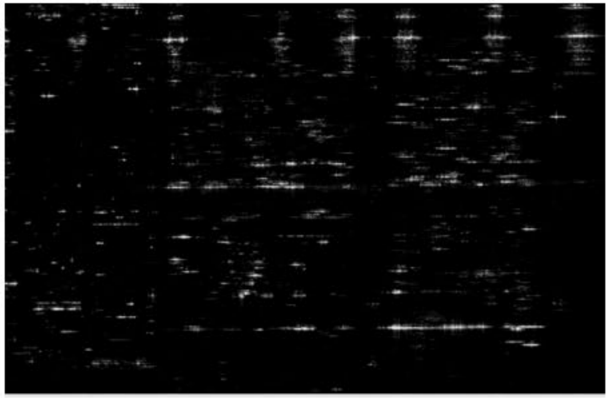


パルス方式　H偏波の与干渉試験結果

試験当日、急遽羽田管制より高度3kmを飛行する様指示があったため、観測距離が本試験装置能力の限界となり、処理による利得などが得られず、正常な再生画像が得られていない（干渉波がある場合、SAR画像上にはレンジ方向に連続した白線が現れる）。



(a)画像処理前



(b)画像処理後

パルス方式　H偏波の被干渉試験結果

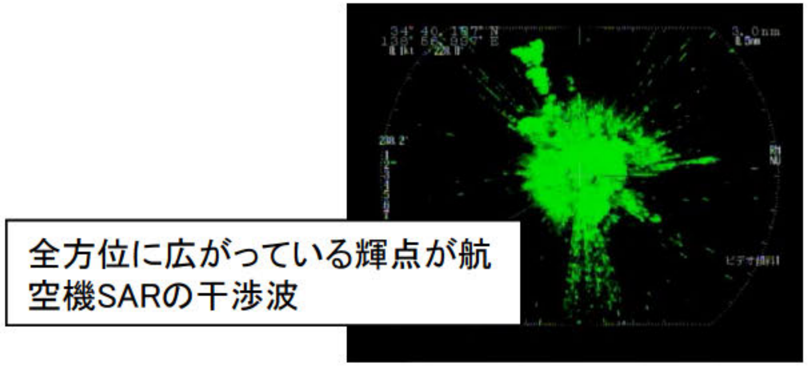
干渉電力が沿岸監視レーダーに照射されたとしても、通常運用の干渉除去（MID）では航空機搭載SARによる沿岸監視レーダーへの干渉は除去されることが判明しており、干渉は無い

船舶レーダーとの共用検討③

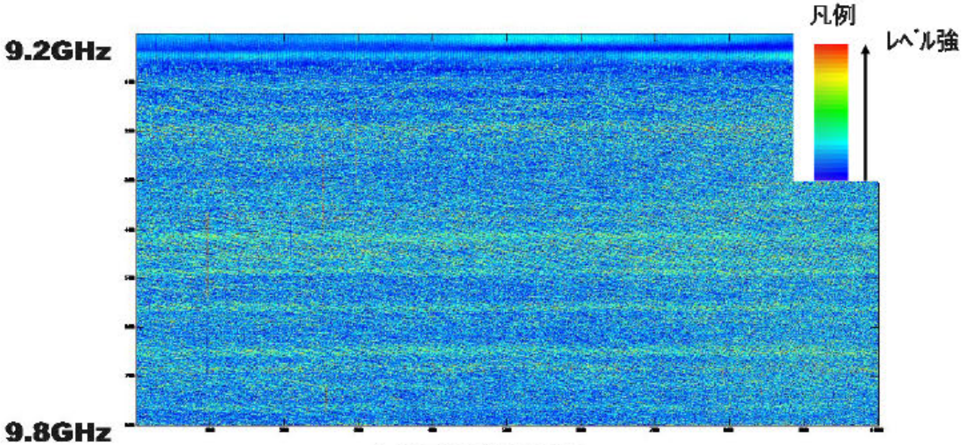
2 船舶航行レーダー

与干渉：船舶航行レーダーの干渉除去処理前ではすべての試験条件において航空機SARの干渉波が確認された。しかし、干渉除去処理後のレーダー画面では航空機SARの干渉波は除去された。

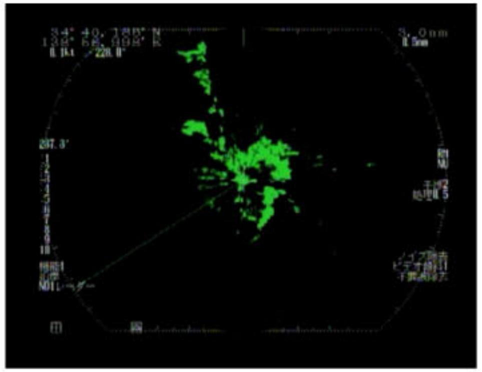
被干渉：航空機SARの画像処理前及び画像処理後のデータに、船舶航行レーダーからの干渉波は確認できなかった。



(a)干渉除去処理前

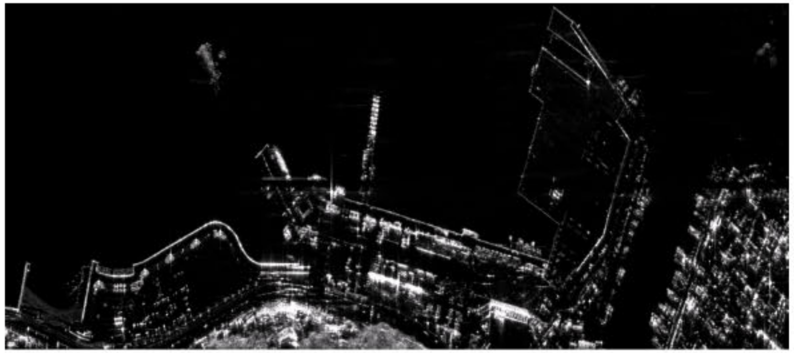


(a)画像処理前



(b)干渉除去処理後

パルス方式　H偏波の与干渉試験結果



(b)画像処理後

パルス方式　H偏波の被干渉試験結果

船舶航行レーダーの“通常”運用モードである“干渉除去”ONにすることで、干渉波が除去されることが確認された。
航空機搭載SARへの船舶航行レーダーからの被干渉も確認されておらず船舶航行レーダーと航空機搭載SARとの“周波数共用”は問題無い