

第2回調査検討会 実証試験報告

小型気象用レーダー 対 船舶用、航空機用レーダー
相互干渉実証試験概要

2016年1月15日

概要

本資料では広島大学にて実施した「気象用 対 気象用」「気象用 対 船舶用」、岡南飛行場にて実施した「気象用 対 航空機用」の干渉試験概要について記す。

- 気象用 対 気象用 (実証①)
 - 古野 WR-2100 対 古野 WR-2100
- 気象用 対 船舶用 (実証②)
 - 古野 WR-2100 対 古野 DRS12A
- 気象用 対 航空機用 (実証③)
 - 古野 WR-2100 対 Honeywell WU-650

目的及び実証試験内容

- 目的

小型気象用レーダーの運用(探査)の実力値を検証し、同帯域を用いる航空機、船舶用レーダーとの共用条件を確認すること。

現在、主に船舶及び航空機のレーダーに使用されている9.4GHz帯において、干渉波による干渉除去機能の有効性確認を含む表示試験を行い、想定される位置関係や運用形態から、小型気象用レーダーを実用局として利用を行うための運用条件及び技術的な検証等を実施する。

- 内容

実証① 2台の小型気象用レーダー間の干渉実験

実証② 1台の小型気象用レーダーと1台の既存の船舶用レーダーの干渉実験

実証③ 1台の小型気象用レーダーと1台の航空機用レーダーの干渉実験

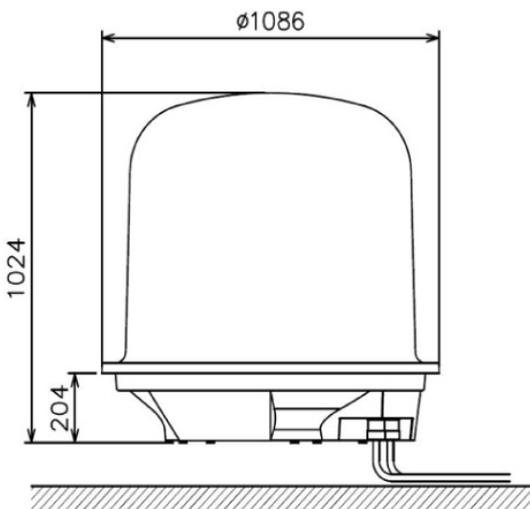
実証④ 小型気象用レーダーの運用(探査)の実力値を検証(1ヵ月程度)

※干渉実験:干渉除去機能の実力値検証

実証試験用小型気象用レーダー装置仕様



小型Xバンド 二重偏波ドップラ気象レーダー
(古野電気製)



寸法図

型式	WR-2100
偏波方式	水平(H)、垂直(V)の偏波を同時に送受信
周波数	9GHz帯
ビーム幅	巾2.7度(H、Vともに)
送信出力	100 W (H、Vともに)
仰角可変範囲	-2~90 度可変
アンテナ回転数	最大16 rpm可変
観測距離	約30~50 km
観測機能	PPI、CAPPI、RHI(セクタスキャン可能)
データ処理ユニット	外部に付属
出力データ	反射強度 Z_h [dBZ]、折り返し補正速度 V [m/s]、速度幅 W [m/s]、 偏波間位相差 ϕ_{dp} [deg]、伝搬位相差変化率 K_{dp} [deg/km]、 偏波間相関係数 ρ_{HV} 、偏波間レーダー反射因子差 Z_{dr} [dB]、 降水強度 R [mm/h]
補正処理	距離減衰補正、降雨減衰補正、速度折り返し補正、地形エコー除去、干渉除去
入力電源	AC 100-240 V単相, 50/60 Hz
消費電力	650 W以下

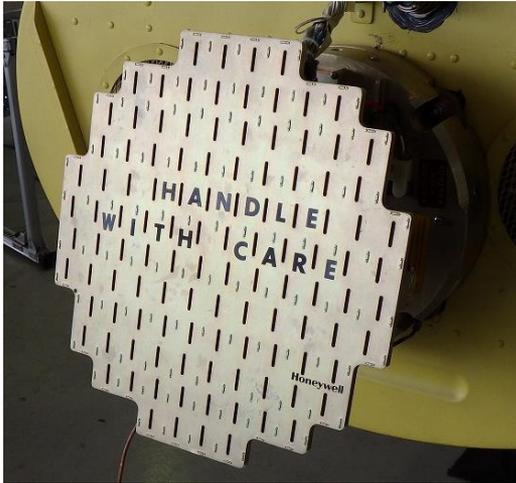
実証試験用船舶用レーダー装置仕様



船舶用レーダー
(古野電気製)

機種名	DRS12A+1255mm
周波数	9410±30MHz
ビーム幅(H)	1.9度
ビーム幅(V)	22度
空中線電力	12 kW
空中線利得	28.5 dBi
終段管	マグネトロン
パルス幅	0.08~1.0 us
繰り返し周波数	600~3000 Hz
アンテナ回転数	24/36/48回転

実証試験用航空機用レーダー装置仕様



航空機用レーダー
(Honeywell製)

機種名	WU-650
周波数	9345 ± 30MHz
送信出力	1.3kW (マグネトロン使用)
チルト角	±15度
利得	28 dB
パルス幅	1.2, 1.5, 2.4, 4.8, 9, 18, 27 usec
繰り返し周波数	120, 240, 360, 480 Hz

アンテナ回転条件

実証①		気象用レーダー		
		正対停止	定仰角回転 (PPI)	ボリュームスキャン
気象	正対停止	未実施	実施(最悪条件)	実施
	定仰角回転 (PPI)	—	実施	実施
	ボリュームスキャン	—	—	実施

実証②		船舶用レーダー	
		正対停止	水平回転 (PPI)
気象	正対停止	未実施	実施(最悪条件)
	定仰角回転 (PPI)	未実施	実施

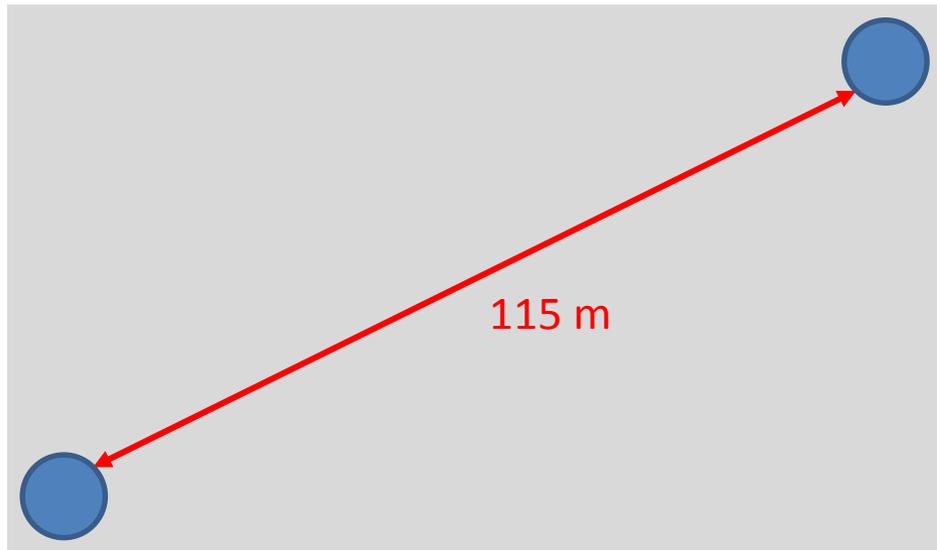
実証③		航空機用レーダー	
		正対停止	水平往復走査
気象	正対停止	未実施	未実施
	定仰角回転 (PPI)	未実施	実施

実証① 気象用 対 気象用



実証① 小型気象用レーダー – 小型気象用レーダー概要

- 目的
 - 陸上の小型気象用レーダー相互間における与干渉・被干渉の確認
- 日程
 - 2015年10月12日
- 実証試験地
 - 広島大学東広島キャンパス(広島県東広島市鏡山) 南第2駐車場
 - 敷地左側は土地が下がっているが、2トントラックを配置すれば試験可能
- 内容
 - 小型気象用レーダーのOFF/ONによって、1台の小型気象用レーダーの運用の実力値を検証。



広島大学 南第2駐車場



● レーダー設置位置

実証① 気象用 対 気象用

- 古野製 WR-2100相互間の干渉について検討
- 周波数は2パターンで実施
 - 9415.00MHz 対 9470.00MHz (離隔周波数:55MHz)
 - 9470.00MHz 対 9470.00MHz (同一周波数;最悪状態)
- 被干渉レーダーは通常運用状態(三次元走査)
- 周波数離隔、距離減衰、頻度低下の影響を評価
- 与干渉レーダーは通常運用(三次元走査)と停止(サイドローブ照射)の2パターン

実証① 減衰量・距離換算

- 実測した減衰量、空中線電力から定格出力(100W)相当に換算した距離を示す

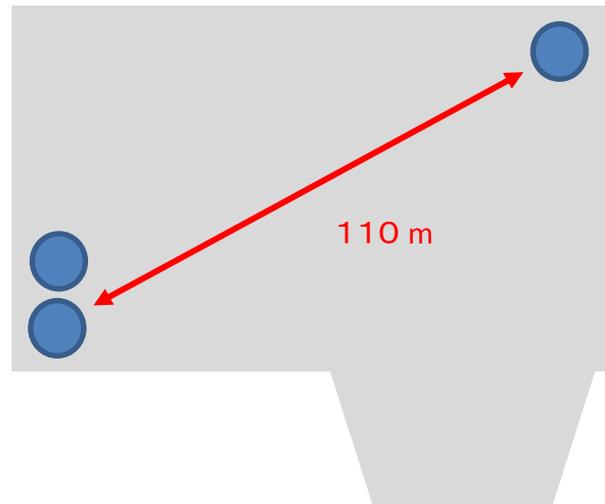
概算ATT [dB]	実測ATT [dB]	メインローブ	サイドローブ
0	0	140 m	19.8 m
10	-8.5	372 m	52.6 m
20	-18.6	1198 m	169 m
30	-28.1	3548 m	501 m
40	-38.3	11.5 km	1620 m
50	-48.5	37.3 km	5272 m
60	-58.4	116 km	16.4 km
70	-68.6	376 km	53.1 km
80	-78.2	1139 km	161 km

実証② 気象用 対 船舶用



実証② 小型気象用レーダー – 船舶用レーダー概要

- 目的
 - 1台の小型気象用レーダーと船舶用レーダーの共用条件を確認するため、与干渉・被干渉の実証試験を行う。
 - 実証試験の一部では小型気象用レーダー2台と船舶用レーダー1台での実証試験を行う。
- 日程
 - 2015年10月13日
- 実証試験地
 - 広島大学東広島キャンパス(広島県東広島市鏡山) 南第2駐車場
 - 敷地左側は土地が下がっているが、2トントラックを配置すれば試験可能
- 内容
 - 小型気象用レーダーのOFF/ONによって、船舶用レーダーの運用の実力値を検証、及び船舶用レーダーのOFF/ONによって、小型気象用レーダーの運用の実力値を検証。



南第2駐車場

●レーダー設置位置

実証② 気象用 対 船舶用

- 古野製 WR-2100 対 古野製 DRS12Aの相互干渉について検討
- 周波数は2パターンで実施
 - 9470.00MHz 対 9414.38MHz (55.6MHz隔離)
 - 9415.00MHz 対 9414.38MHz (620kHz隔離;最悪状態)
- 気象用は水平・垂直偏波の同時送受信で実施
 - 船舶用は水平偏波専用
- 最初にWR-2100の数による影響を検証
 - 2台と1台での差異を実測

実証② 気象用 対 船舶用

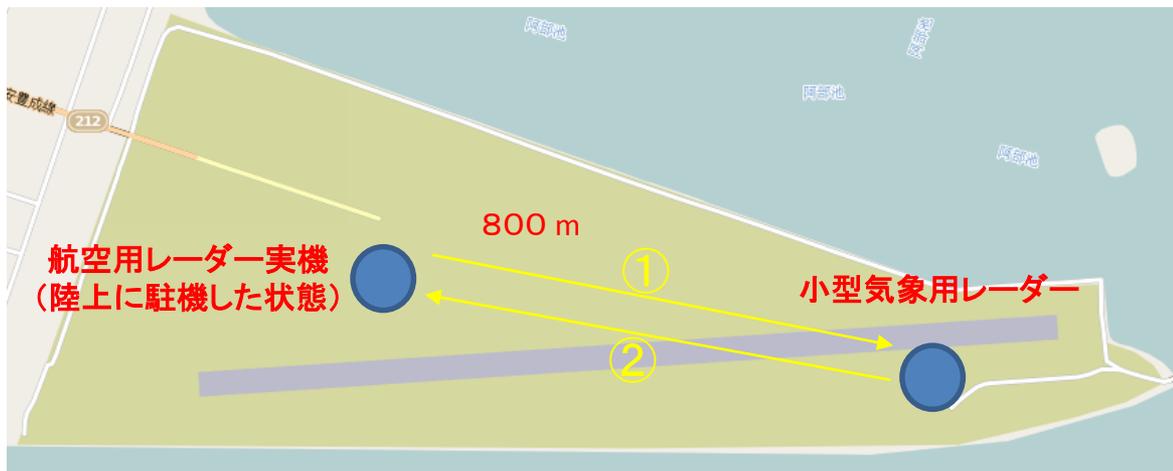
- 船舶用レーダーは通常運用状態(定常回転)
 - 最短パルスで最遠距離探知の設定(0.5kmレンジ)
- 気象用レーダーは停止(サイドローブ照射)と通常運用(三次元走査)の2パターン
 - サイドローブ照射はアンテナを船舶用に向けて停止させた上で、減衰器を用いて利得差を模擬する

実証③ 気象用 対 航空機用



実証③ 小型気象用レーダー – 航空用レーダー概要

- 目的
 - 1台の小型気象用レーダーと航空用レーダーの共用条件を確認するため、与干渉・被干渉の実証試験を行う。
- 日程
 - 2015年10月14～15日
- 実証試験地
 - 岡南飛行場(岡山県岡山市南区)
 - 航空機はエプロン部に駐機させ、小型気象用レーダーは保安上の都合から吹き流し横に設置
 - 航空機と小型気象用レーダーの距離は約800メートル
- 内容
 - 小型気象用レーダーの周波数を変更し、同周波数で実証試験
 - ①小型気象用レーダーのOFF/ONによって、航空用レーダーの運用の実力値を検証
 - ②航空用レーダーのOFF/ONによって、小型気象用レーダーの運用の実力値を検証



岡南飛行場 (OpenStreetMapより)

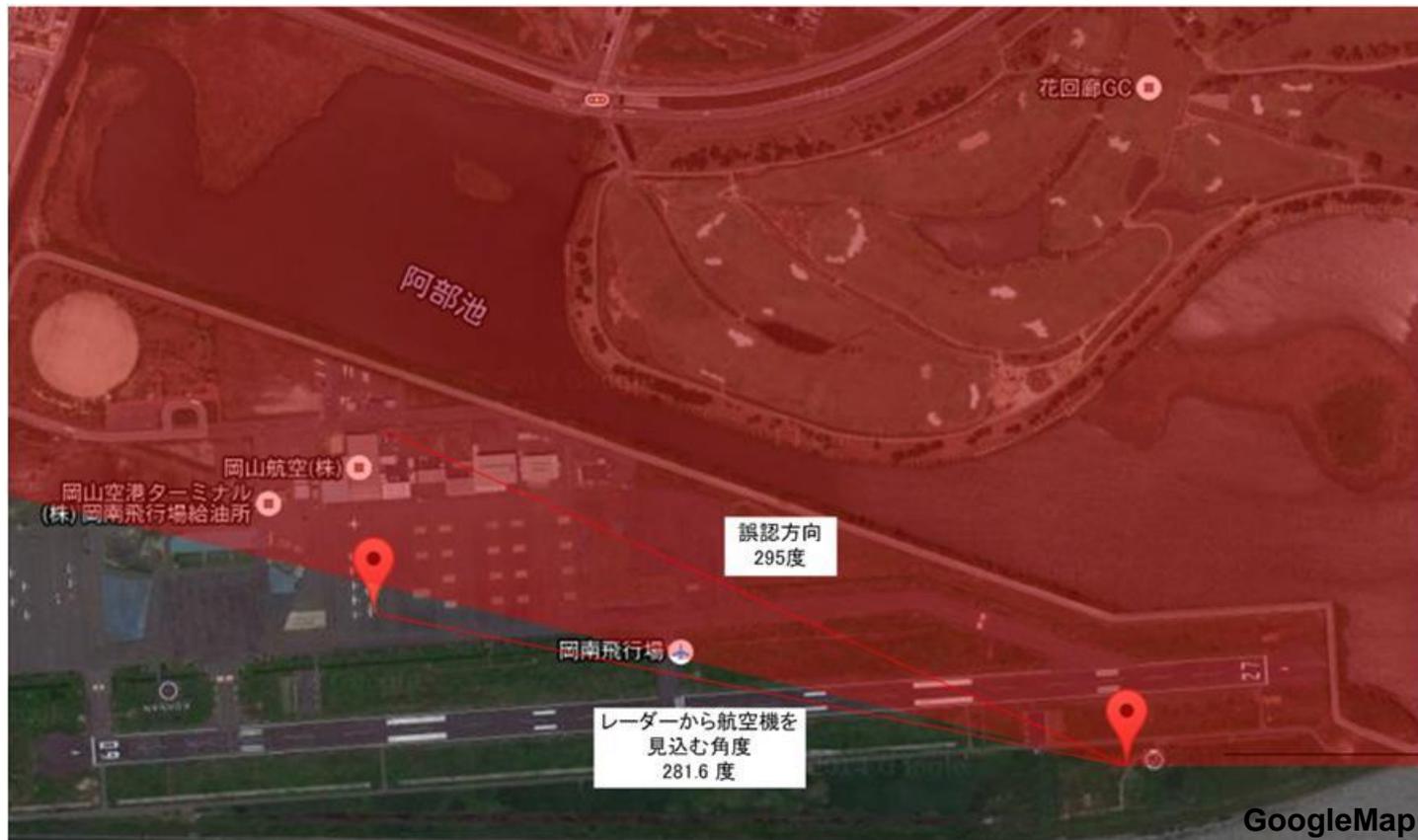


実証③ 気象用 対 航空機用

- 古野製 WR-2100 対 Honeywell製 WU-650の相互干渉について検討
- 周波数はマグネトロンの送信周波数に極力近づける
 - 測定中にも変化する為、スペアナで追いかける
- 気象用は水平・垂直偏波の同時送受信で実施
 - 航空機用は水平偏波専用
- 送信禁止領域に航空機が入ってしまった
 - 正対方向は送信せず(実験中に気付かず)
 - PPIでの評価のみ有効
 - PPI送信時、実際は正対方向へ送信している為評価可能
 - 実使用で正対停止はほぼ生じない為、PPIを最悪値としても差し支えないと考える

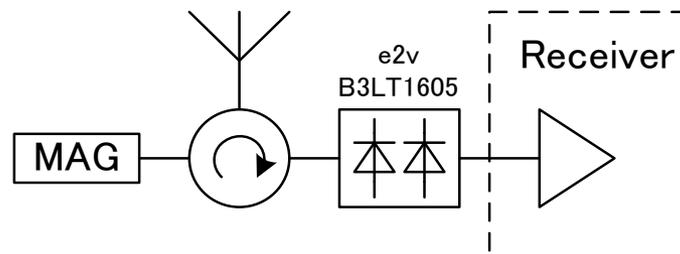
実証③ 方位測定ミスの説明

- レーダーの方位合わせは問題無し
- 800 m 彼方の物標へコンパスで合わせようとしたのが原因
- 赤いエリアが送信禁止領域(285~90度)



実証③ 気象用 対 航空機用

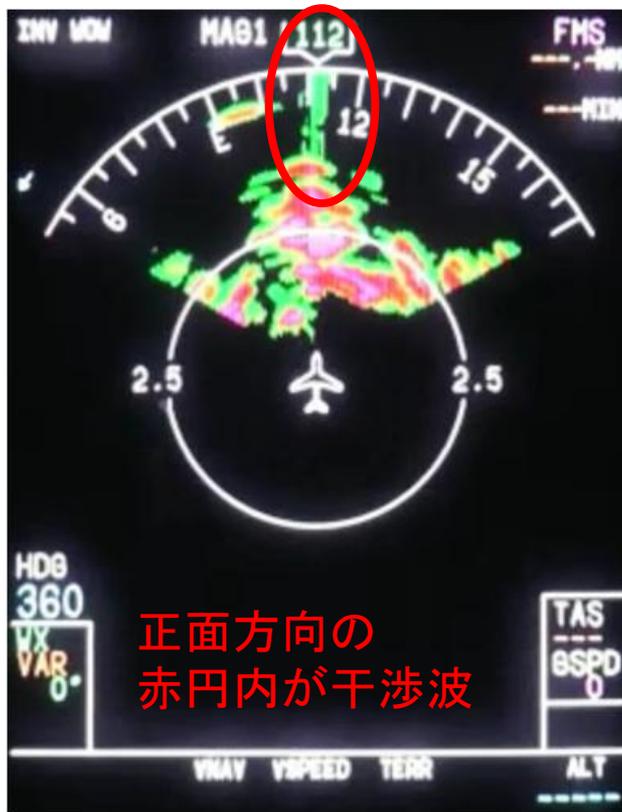
- 航空機レーダーの破壊可能性検討
 - 外来波に対して最も脆弱な部分は受信機であり、今回用いたWU-650は電力リミッタ(e2v製 B3LT1605; 定格5kW)で保護されている
 - 気象レーダーの出力100Wに対してマージンがある
 - 送受信切替はサーキュレータで行われている
 - 送信系から受信系への逆方向リークは-20~-30dB程度
 - 最悪条件の30dBとしても、自機の送信波から受信機へ漏れ込む電力は1.3W(安全な電力)
 - 古野製気象レーダーが24.8m離れて正対送信した場合と等価
- 十分なマージンがあり、問題無いと判断する



Honeywell WU-650
アナログ送受信部系統図

実証③ 航空機干渉発生状況 (気象用レーダー:与干渉)

- PPI走査(仰角0度)、航空機と同周波数、送信電力 78.5W
 - 100 W換算、メインローブ 対 メインローブで 903 m 相当
 - 100 W換算、メインローブ 対 サイドローブで 127.5 m 相当



最悪状態



周波数隔離 (2.5MHz)

実証③ 航空機干渉発生状況（最悪条件） （気象用レーダー：与干渉）

- PPI走査（仰角0度）、航空機と同周波数、送信電力 78.5W
 - 100 W換算、メインローブ 対 メインローブで 903 m 相当
 - 100 W換算、メインローブ 対 サイドローブで 127.5 m 相当



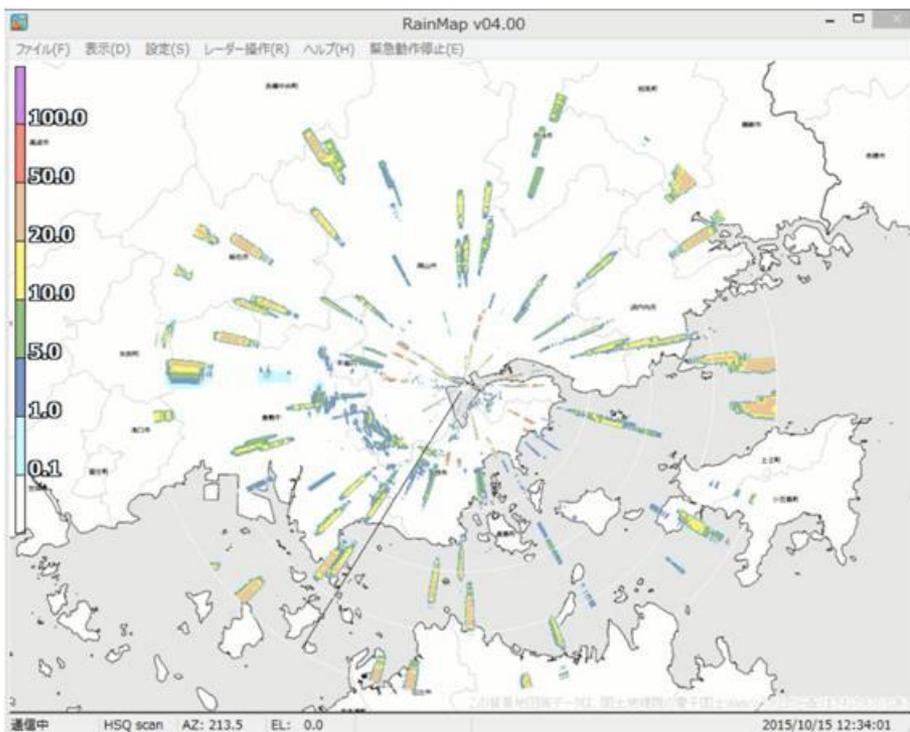
画面上の小さい輝点は全て干渉波

同機パイロットのコメント：
「今まで見たことは無いが、もし航行中に現れても異常無しと判断するだろう」

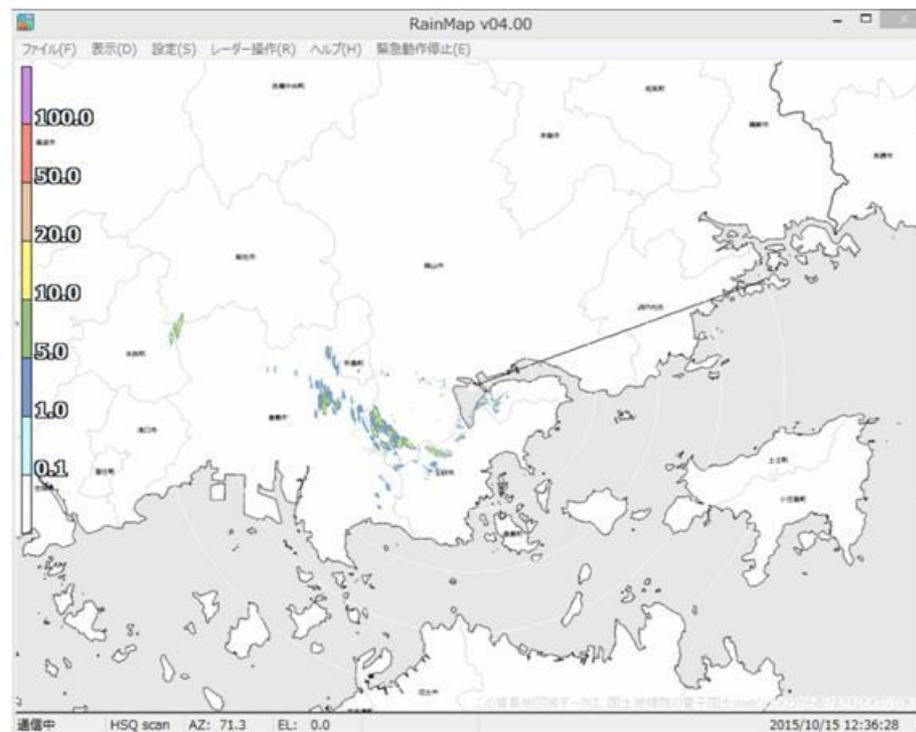
実証③ 干渉除去機能の効果 (気象用レーダー:被干渉)

- PPI走査(仰角0度)、航空機と同周波数、送信電力 78.5W
 - 100 W換算、メインローブ 対 メインローブで 903 m 相当
 - 100 W換算、メインローブ 対 サイドローブで 127.5 m 相当

WU-650 Range: 150NM, PW: 27us



干渉除去機能:OFF



干渉除去機能:ON

実験結果まとめ(概要)

- 船舶用は最悪条件においても、干渉を消した上で物標が残っていることを確認
 - 通常使用では常時ONのため、実用上問題無いと言える
- 気象用は最悪条件においても、画面上は気にならない程度まで干渉を除去できることを確認
 - データを詳細に見ると残っている為、これをどう判断するかが課題
 - 垂直／水平偏波間差の評価も課題
- 航空用は干渉除去機能が無い為、判定方法が課題
 - 遠距離設定(最高感度)においては、最悪条件でも気にならないレベルとのコメントが頂けた