

X帯無線航行レーダー帯域における気象レーダーの  
利用に関する調査検討  
報告書概要版

平成28年3月  
X帯無線航行レーダー帯域における  
気象レーダーの利用に関する調査検討会

# 調査検討会の背景と目的

- 現在、我が国では、国、自治体、企業などの気象用レーダーとしてはC帯（5 GHz帯）の電波を用いる大型の気象用レーダーや、X帯（9.7 GHz帯）を用いる小型の気象用レーダーが利用されている。
- 他方、X帯の他の一部（9.4 GHz帯）は、長く船舶及び航空機搭載用レーダーとして割当てられて利用されており、小型かつ低価格の製品が多いことから、メーカーによる気象観測レーダーの開発も行われている。
- いわゆるゲリラ豪雨や竜巻等の局地的な気象観測用や移動型の気象観測レーダーとしての実験が行われており、有効性も期待され実用局としての利用要望もある。

→ これらの期待に応えるため、9.4 GHz帯において、小型気象用レーダーを実用局として利用を行うための技術的条件、運用条件及び技術的な検証等を明らかにする。



「X帯無線航行レーダー帯域における気象レーダーの利用に関する調査検討」  
調査検討会 座長：河原 能久（広島大学大学院 教授）

## ■ 調査検討会構成メンバー

◆有識者 ◆国、地方自治体 気象用レーダーメーカー以上13者  
※委員詳細等は参考資料を参照

# 現状と課題

- 現在、9.4 GHz帯には、海上無線航行 / 航空無線航行 / 無線標定のために使用する周波数が割当てられている。



- 9.4 GHz帯における、周波数割当は全世界共通であり、ITU（国際電気通信連合）のRR（無線通信規則）による業務間の優先順位は右の表のとおりとなっている。

### 国際規定

優先順位	業務
1位	無線航行業務（船舶、航空機用）
2位	地上に設置した気象用レーダー（無線標定業務）
3位	その他無線標定業務

- 以上のように、9.4 GHz帯は特に生産台数の多い船舶用レーダーに使用されており、それらの部品も流用可能である。よって、低コストでの製造が可能となり、保守部品の調達も容易というメリットが挙げられる。技術的な面では小型化に関する製品技術を転用しやすいという点も大きい。

### 国際規定詳細

優先順位	業務 ( ) 内は無線通信規則の条文番号
1位	無線航行業務 (5.475B)
2位	地上に設置したレーダービーコン (航空無線航行業務) (5.475)
3位	地上に設置した気象用レーダー (無線標定業務) (5.475B)
4位	その他の無線標定業務 (5.475A)
5位	地球探査衛星業務、宇宙研究業務 (5.476A)

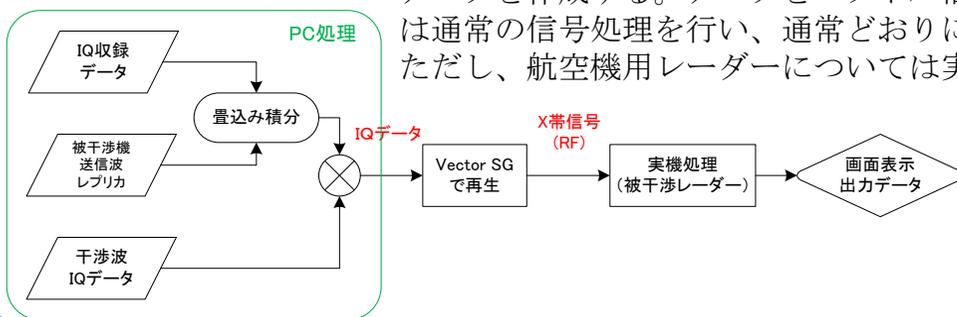
- 更に国際展開を考えると、海外で活用されているX帯気象レーダーと同帯域のものを輸出用・国内用ともに同仕様で製造できることが輸出の促進に繋がり、日本経済を活性させるためにも理想的である。
- このように、9.4 GHz帯を使用した気象用レーダーには多くのメリットがある一方で、無線航行業務のレーダーに有害な混信を生じさせてはならず、また、そのレーダーからの保護を要求してはならない。そのため、技術的条件、運用条件及び技術的検証が必要である。
- 混信を生じさせない運用条件を見つけるためには、離隔周波数（航行用レーダーとの周波数をどの程度離せば良いか）、気象レーダーの数（干渉の頻度による影響）、航行用レーダーと気象用レーダーの離隔距離（出力の違いによりどの程度干渉源として影響を及ぼすか）等を検証する必要がある。

# 机上検討と実証試験～方法とイメージ

## ■ 概要

- ◆ 気象用レーダー、船舶用レーダー、航空機用レーダーの相互間干渉について、実機を用いた実地検証を行う。
- ◆ 実証試験を行うことが困難な多数レーダーからの干渉といった条件を検討するため、机上検討を行う。

## 机上検討



- ◆ 計算機でシミュレーションを行った干渉波のデータと、実環境で収録した基準画像を重畳して評価データを作成する。データをベクトル信号発生器によって無線周波で再生し、実機へ入力する。実機は通常の信号処理を行い、通常どおりに画面表示やデータ出力を行い、これを評価する。ただし、航空機用レーダーについては実機が用意できないため実証試験のみ行う。

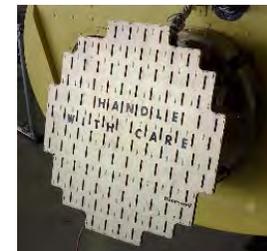
## 実証試験 イメージ



気象用レーダー



船舶用レーダー



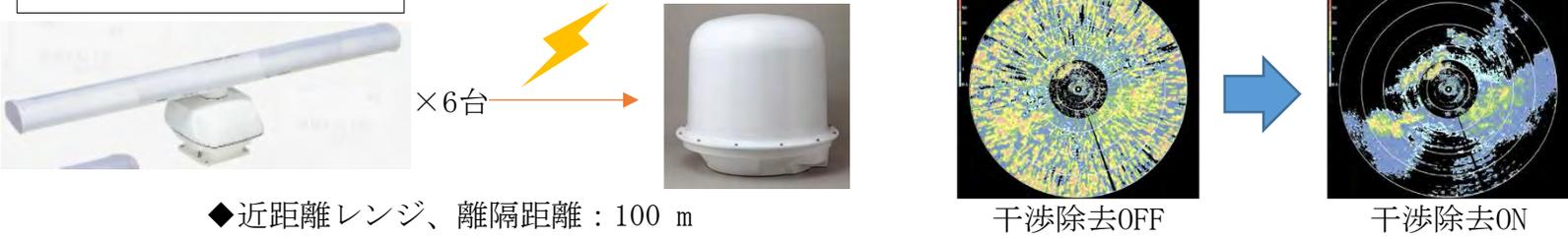
航空機用レーダー

- ◆ 干渉の状態を被干渉レーダーの画面上で確認する。

# 机上検討の結果

- ◆被干渉機が気象用レーダーの場合
  - 現実的には起こり得ない台数の船舶用レーダーに囲まれた場合でも、干渉除去機能によって干渉が除去されることが確認された。
- ◆被干渉機が船舶用の場合
  - 現実的には起こり得ない台数の気象用レーダーに囲まれた場合でも、干渉除去機能によって干渉が除去されることが確認された。

## 被干渉機が気象用の場合



◆現実的には起こり得ない最悪条件においても良好に除去できており、実用上問題無い

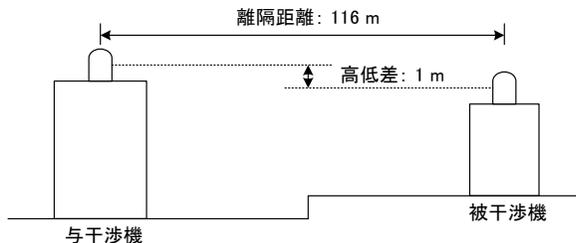
## 被干渉機が船舶用の場合



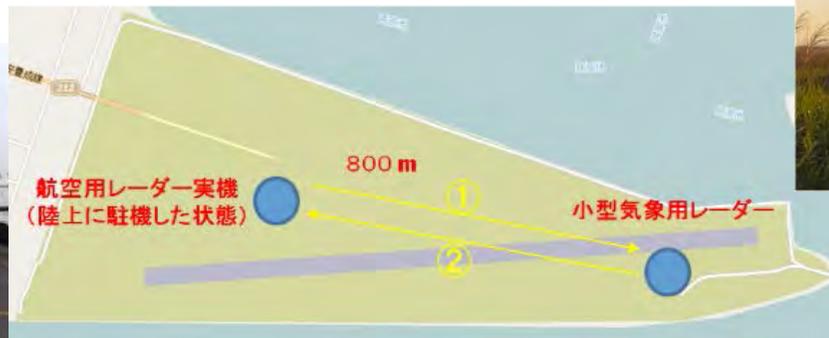
◆半径500 m以内の陸上に気象レーダーが4台存在するという最悪環境条件で、500 mの離隔距離が干渉除去機能を使用すれば干渉除去は可能

# 実証試験～試験地の概要

- ◆ 試験日程：平成27年10月12日～13日
- ◆ 試験地：広島大学 東広島キャンパス 南第2駐車場
- ◆ 使用レーダー：気象用レーダー（WR-2100）、船舶用レーダー（DRS12A+1255mm）



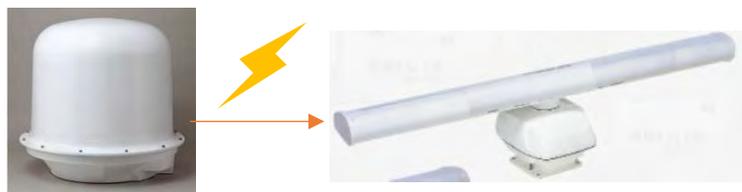
- ◆ 試験日程：平成27年10月14日～15日
- ◆ 試験地：岡山県立 岡南飛行場
- ◆ 使用レーダー：航空機用レーダー（WU-650）



# 実証試験結果（気象用レーダーと船舶用レーダーの相互間干渉）

## ◆気象用レーダーと船舶用レーダーの干渉状況について

- それぞれが被干渉、与干渉の場合、同一周波数で離隔距離52.5 m以上の条件においては、干渉除去機能によって干渉は除去されることが確認された。



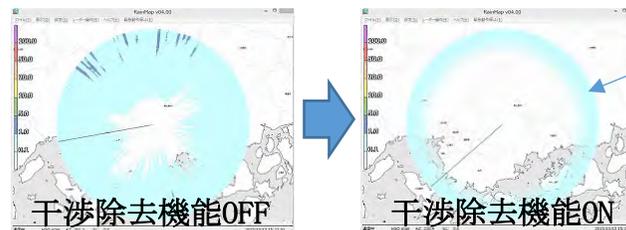
与干渉機：9415 MHz、PPI、被干渉機：9414.38 MHz、PPI



◆同一周波数かつ離隔距離52.5 m以上の条件で、干渉除去機能を用いることで干渉を除去できることが分かった。



与干渉機：9414.38 MHz、PPI、被干渉機：9415 MHz、PPI



外縁部の水色になっている領域はシステム雑音である。距離を模擬するために受信機へも減衰器を挿入しているため、雑音電力が増加し、このように見えている

◆同一周波数かつ離隔距離52.5 m以上の条件で、干渉除去機能を用いることで干渉を除去できることが分かった。

# 実証試験結果（気象用レーダーと航空機用レーダーの相互間干渉）

## ◆気象用レーダーと航空機用レーダーの干渉状況について

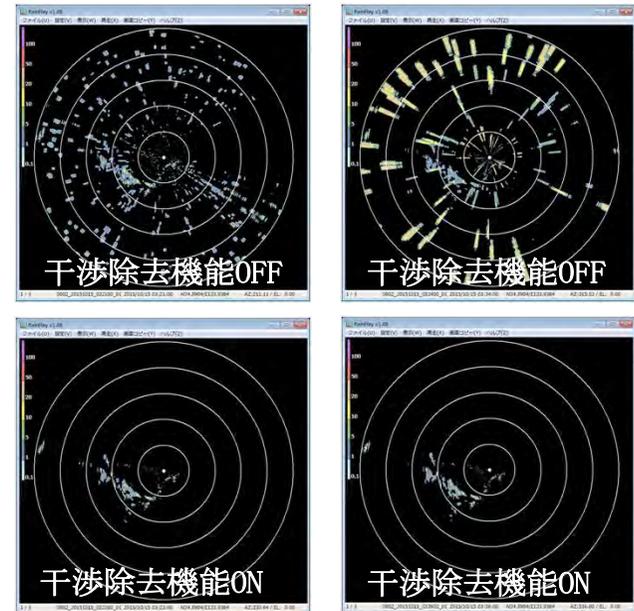
- 被干渉機が航空機用レーダーの場合、5 NM レンジ (NM:海里、1 NM = 1852 mで、5 NMは約 9 km) で離隔周波数を 2.5 MHzとした場合、離隔周波数が 0 MHzの場合に比べかなり減少はするものの、無くなるわけではないことが確認された。また、離隔周波数が0 MHzのまま、300 NM レンジ (約 560 km)で観測した場合はいくつかの小さな輝点が残りに、干渉波の占有面積が低下することが確認された。
- 被干渉機が気象用レーダーの場合、干渉除去機能を使用すれば良好に干渉を除去できていることが分かった。

航空機用レーダー画面  
(被干渉機が航空機用レーダー、与干渉機が気象用レーダー)



5 NMレンジ 同周波数運用 離隔距離は137 m (メインローブ 対 サイドローブで評価)  
 5 NMレンジ 離隔周波数2.5 MHz  
 300 NMレンジ 同周波数運用

気象用レーダー出力  
(被干渉機が気象用レーダー、与干渉機が航空機用レーダー)



与干渉機 : 5 NMレンジ 300 NMレンジ

## ◆結果の考察

- 航空機用気象レーダーについては干渉除去機能搭載が義務付けられていないため、干渉は無視できない。 ➡ 周波数離隔で対応
- 気象用レーダーが被干渉機となる場合は、干渉除去機能を使用すれば観測上支障は無いと考えられる。

# 実証試験結果～気象用レーダーの運用実力値検証

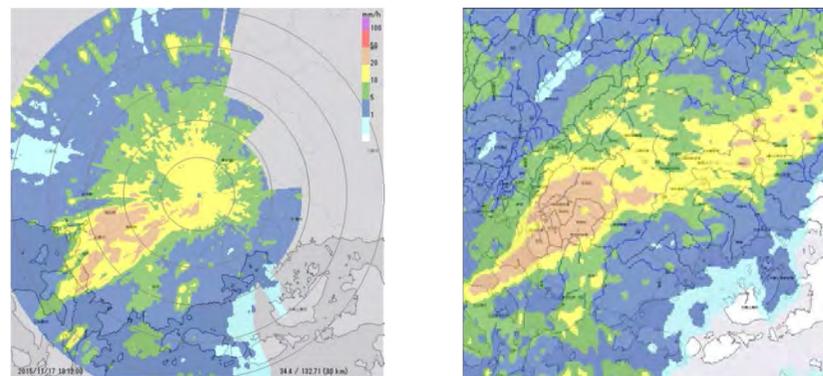
## ◆気象用レーダーの運用実力値検証について

- 国立大学法人 広島大学の校舎屋上へ設置して運用してデータを収録した。この収録したデータを、国土交通省のXRAINの観測結果および、気象庁のアメダスと比較することによって評価した。
- XRAIN及びアメダスの観測結果と比較し、雨域の分布を定性的に観測するという役割において、一定の成果が得られることを確認した。



実証試験機設置状況

2015年11月17日 18:12の観測結果

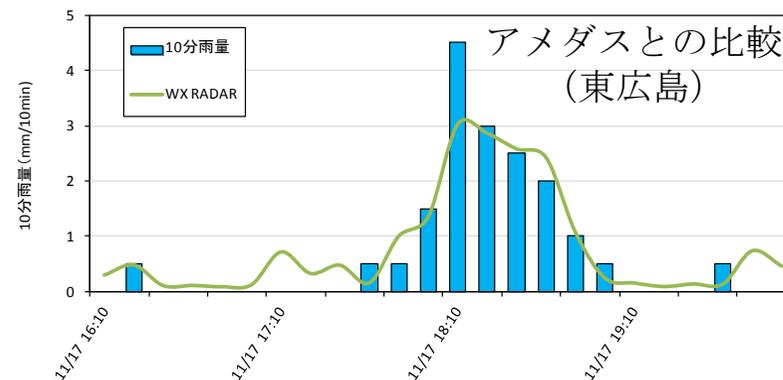


WR-2100

XRAIN (2台合成)

## ◆結果の考察

- XRAINとの比較： WR-2100は1台での観測結果、XRAINは2台の観測結果を合成された結果である。東側は建築物や地形の遮蔽により観測できていないが、西側については概ね、雨域を定性的に評価できていることが分かる。
- アメダスとの比較： 10分値を用いて10分間雨量で比較しているが、概ね変化を捉えられていることが分かる。
- 雨域の分布を観測するという気象レーダーの使命としては、ある一定の成果を得られており、気象レーダーとしての使用に耐えるといえる。



## 調査まとめ～技術的条件等

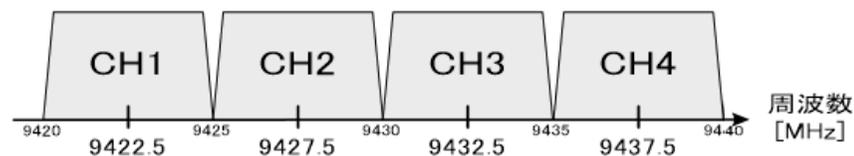
### ■ 周波数プラン

小型気象用レーダーに使用する周波数については、優先順位の上位にある船舶用レーダー及び航空機用気象レーダーに対して極力混信を与えないように配慮する必要がある。このことを踏まえ、現在運用される航空機用気象レーダーに対して、十分な周波数離隔が取れる周波数に絞ることが必要となり、これらを満足する周波数は、9420～9440 MHzの範囲に絞られる。以下に案を示す。

周波数指定の条件案

チャンネル番号	中心周波数 [MHz]	占有周波数帯幅 [MHz]	チャンネル幅 [MHz]	チャンネル間隔 [MHz]
CH1	9422.5	4.4	5.0	5.0
CH2	9427.5	4.4	5.0	5.0
CH3	9432.5	4.4	5.0	5.0
CH4	9437.5	4.4	5.0	5.0

チャンネル配置案



### ■ 船舶用レーダーへの干渉について

- ✓ 気象用レーダーからの干渉は、500 mの離隔距離をとった場合、標準搭載されている干渉除去機能によって除去は可能である。
- ✓ 一方、船舶用レーダーは気象用レーダーよりも優先度が上位の業務であるため、本検討によって示した干渉軽減効果については、今後、被干渉側である船舶レーダーの使用者や製造者との調整等を経て対応することが望ましい。
- ✓ 干渉が問題になる場合の対応策として、周波数離隔、送信方位制限、サイドローブ抑圧フェンス等の対策を組み合わせると効果的であると考えられる。
- ✓ X帯の義務船舶用レーダーについては、SART (Search And Rescue Transponder) への対応が義務付けられている。気象用レーダーのSARTへの影響については、IEC61097-1及び、ITU-R M. 628-5から抜粋したSARTの仕様を元に、机上検討を行った。

### ■ 航空機用レーダーへの干渉について

- ✓ 干渉強度としては無視できないため、航空機用レーダーに対しては、周波数離隔で対応する必要があると考えられる。
- ✓ 気象用レーダーの割当周波数は、航空機用レーダーの免許実績の無い帯域を選定している。しかし、将来にわたる利用を保証することは困難であるため、制度化後に状況変化が生じた場合、周波数離隔、送信方位制限、サイドローブ抑圧フェンス等の対応が必要になると考えられる。

# 調査まとめ～技術的条件等

## ■ 陸上用気象レーダーの相互干渉について

- ✓ 気象レーダーからの干渉については、振幅観測などに用途を限定すれば許容可能である。また、使用できるチャンネルが限られるため、免許人間で合意している場合には、近接した距離に設置するレーダーについても同一周波数の割当てを妨げない旨、規定することが妥当である。
- ✓ 近接する局は可能な限り周波数分離して運用することが望ましいため、チャンネル割当てを行う。ただし、基本的には他業務からの干渉を常時受けることが想定されるため、送信方位制限機能と干渉除去機能は必須とする。送信方位制限機能については、2方向以上、干渉除去機能については、9.7 GHz帯の周波数オフセットパルス方式以外と同様の機能を有するものとするのが妥当であると考えられる。

## ■ 技術的条件について

- ✓ 多少の余裕を見込んで調整した技術的条件を示す。実効的な干渉を抑制するという観点から、放射エネルギーはEIRPで管理し、また、与干渉時間は空中線指向角で管理しつつ電力・パルス幅積で制限するのが適切であると考えられる。
- ✓ 放射エネルギーについては、優先度が2番手であるために、既存業務への干渉をできるだけ低減する必要がある、これにより最小限の出力である92 dBmとする。
- ✓ スプリアスマスクに関しては、ITU-R RRの現行規定である-30 dB/decを基準とする。

### 技術的条件

項目	条件値等	
空中線指向角	3.0° 以下	
空中線電力（最大尖頭電力）	400 W以下 (両偏波合計)	
最大EIRP	92 dBm 以下	
±6° 以上 離れた指向方向のEIRP (サイドローブ)	75 dBm 以下	
±20° 以上 離れた指向方向のEIRP	65 dBm 以下	
±45° 以上離れた指向方向のEIRP	60 dBm 以下	
±6° 以上離れた指向方向において	±5 MHz以上離隔したEIRP	20 dBm 以下
	±10 MHz以上離隔したEIRP	0 dBm 以下
割当周波数	周波数プラン (P9) に示すとおり	
占有周波数帯幅 (VON)	4.4 MHz 以下	
占有周波数帯幅 (QON)	4.4 MHz 以下	
EIRP・パルス幅積	150 W・s 以下	
一秒間の平均EIRP	83 dBm 以下	
送信方位制限機能	2方向以上	
干渉除去機能	17 dB 以上	
スプリアスマスク	ITU-RのRRに準じる (-30dB/dec)	

## ■ 運用条件について

- ✓ 現在、レーダーの使用は、企業等からも求められており、ユーザーを広げる必要がある。そのため、運用者は気象観測業務を行う法人又は団体とするが、個人については不相当とする。また、実験試験局は検討の対象外としているが、実験試験局を排除するものではない。

# 調査検討会委員名簿・調査検討日程

## 調査検討会 委員一覧

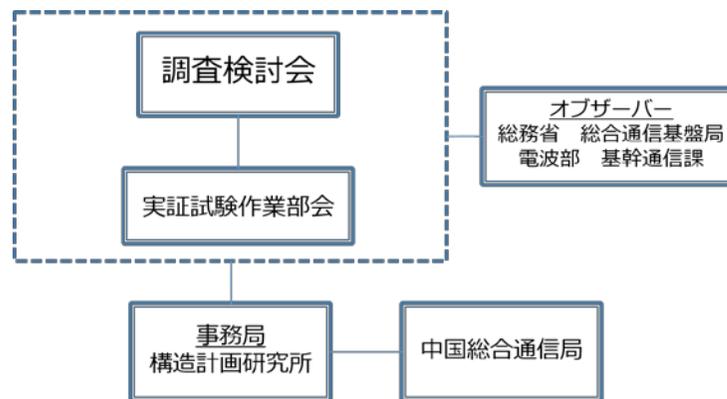
	氏名	所属・役職
委員 (※1)	河原 能久	国立大学法人広島大学 大学院 工学研究院 社会環境空間部門 副研究院長 教授
委員 (※2)	下舞 豊志	国立大学法人島根大学 大学院 総合理工学研究科 機械・電気電子工学領域 准教授
委員 (※3)	高橋 賢	広島市立大学 大学院 情報科学研究科 情報工学専攻 准教授
委員	(H27.7) 林 義也 (H27.8から) 高橋 史昭	総務省 中国総合通信局 無線通信部長
委員	田村 英樹	日本無線株式会社 商品設計部 デジタルコアグループ 参事
委員	辻 雅生	三菱電機株式会社 鎌倉製作所 ミッション技術部 技術第一課課長
委員	手柴 充博	株式会社 ウェザーニューズ レーダープロジェクト チームリーダー
委員	花土 弘	国立研究開発法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究所 センシングシステム研究室 研究マネージャー
委員	廣瀬 孝睦	古野電気株式会社 船用機器事業部 システムソリューション部 ソリューション開発課 主任
委員	山内 守	一般社団法人 全国船舶無線協会 中国支部 事務局長
委員	吉岡 正裕	広島市 危機管理室 災害対策課長
委員	米本 成人	国立研究開発法人 電子航法研究所 監視通信領域 上席研究員
委員	和田 将一	株式会社東芝 社会インフラシステム社 電波システム事業部 電波応用営業部 電波応用営業第二担当 課長
オブザーバ	総務省 基幹通信課	
事務局	株式会社構造計画研究所	

- ※1 調査検討会座長
- ※2 作業部会長代理
- ※3 調査検討会座長代理、作業部会長

## 調査検討日程

	日時	調査検討概要
第1回調査検討会	平成27年7月6日 (月) 15時00分～17時00分	調査検討の方向性を確認した。
第2回調査検討会	平成28年1月15日 (金) 13時00分～15時30分	実証試験結果、机上混信検討結果、技術的条件の検討を行った。
第3回調査検討会	平成28年3月11日 (金) 15時00分～16時15分	報告書の最終確認を行った。

- 上記期間内に作業部会を広島県及び東京都において全6回行った。
- 実証試験は平成27年10月12～15日にかけて、広島大学及び岡山県岡南飛行場において行った。
- 公開催事は平成27年11月27日に、広島大学において行った。



調査検討体制