別紙１

情報通信審議会　情報通信技術分科会

航空・海上無線通信委員会報告（案）

諮問第 50 号「海上無線通信設備の技術的条件」
（平成２年４月 23 日諮問）のうち
「X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件」

令和〇年〇月〇日

情報通信審議会情報通信技術分科会

航空・海上無線通信委員会

X 帯沿岸監視用レーダー作業班

目次

Ⅰ　検討事項 3

Ⅱ　委員会及び作業班の構成 3

Ⅲ　検討経過 3

Ⅳ　検討概要 5
第１章　X 帯沿岸監視用レーダーの概要 5
第２章　検討の内容 7
第３章　技術的条件の検討 21
第４章　技術的条件 40

Ⅴ　検討結果 49

別添　諮問第 50 号「海上無線通設備の技術的条件」のうち「X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件」（案） 51

別紙１　情報通信審議会 情報通信技術分科会 航空・海上無線通信委員会 専門委員 60

別紙２　情報通信審議会 情報通信技術分科会 航空・海上無線通信委員会 X 帯沿岸監視用レーダー作業班 構成員 61

参考資料　X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討調査報告書 62

Ⅰ　検討事項

航空・海上無線通信委員会（以下「委員会」という。）は、電気通信技術審議会諮問第50号「海上無線通信設備の技術的条件」（平成２年４月23日諮問）のうち、「X帯沿岸監視用レーダーの技術的条件」の検討を行った。

Ⅱ　委員会及び作業班の構成

委員会の構成は、別紙１のとおりである。

検討の促進を図るために、委員会の下に X 帯沿岸監視用レーダー作業班（以下「作業班」という。）を設置し、X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件についての検討を実施した。

作業班の構成は別紙２のとおりであり、必要に応じて、有識者にも作業班の参加を求めた。

Ⅲ　検討経過

１　委員会での検討

（１）第27回航空・海上無線通信委員会（令和６年４月５日）

X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件に関する検討の進め方について検討を行った。また、検討の促進を図るために作業班を設置した。

（２）第28回航空・海上無線通信委員会（令和６年８月23日）

X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件に関する報告案について検討した。

（３）第29回航空・海上無線通信委員会（令和６年　月　日）

２　作業班での検討

（１）第１回作業班（令和６年４月23日）

X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件の検討の進め方について検討した。

（２）第２回作業班（令和６年５月29日）

X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件に関する検討課題の抽出について検討した。

（３）第３回作業班（令和６年７月10日）

X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件に関する報告案について検討した。

（４）第４回作業班（令和６年７月 25 日）

X 帯沿岸監視用レーダーの高度化のための技術的条件に関する報告案のとりまとめを行った。

Ⅳ　検討概要

第１章　X 帯沿岸監視用レーダーの概要

1.1 X 帯沿岸監視用レーダーの概要

X 帯（9GHz 帯）を利用する沿岸監視用レーダーは、港湾内を航行する船舶等の監視をはじめ、密漁やテロ対策など、重要拠点のセキュリティ対策などにも利用され、設置数や需要が高まってきており、今後十年間において、海上保安、発電所、石油備蓄、天然ガス基地、漁場監視等を目的とした新規設置や固体素子型への更新の数が全国で 150 件以上に増大することが見込まれている。

一方、同じ X 帯の周波数を使用する陸上設置気象用レーダーは、近年、甚大化する豪雨被害への対策のため、早期検知の手段として用いられており、従来のパラボラ型気象用レーダーよりも短時間で高精度な観測が可能となるよう、フェーズドアレイ型気象用レーダー等の次世代高機能レーダーへの需要が高まっており、今後、設置数が増加し、沿岸監視用レーダーとの間で干渉が増加することが想定されている。

また、X 帯の周波数を使用する既存のシステムとして、船舶用レーダーや航空機搭載型気象レーダーが存在しているとともに、CS 放送受信のイメージ周波数なども当該周波数帯に存在していることから、沿岸監視用レーダーの使用周波数帯を拡大し、機能向上を図るにあたって、これら既存の無線システムとの共用条件を検討することが必要である。

1.2 現状と問題点

X 帯の周波数分配状況等は表 1-2 及び図 1-2 のとおりであり、国際的に無線標定、海上無線航行、地球探査衛星、宇宙研究及び固定の各業務に分配され、国内においても同様に分配されている。

X 帯の周波数帯のうち、9,000-9,200MHz 帯は、航空無線航行システム（PAR）に割り当てられている。

9,200-9,300MHz 帯は、捜索救助用レーダートランスポンダ用に割り当てられており、沿岸監視用レーダーと当該無線システムとの間で共用を図ることが困難である。

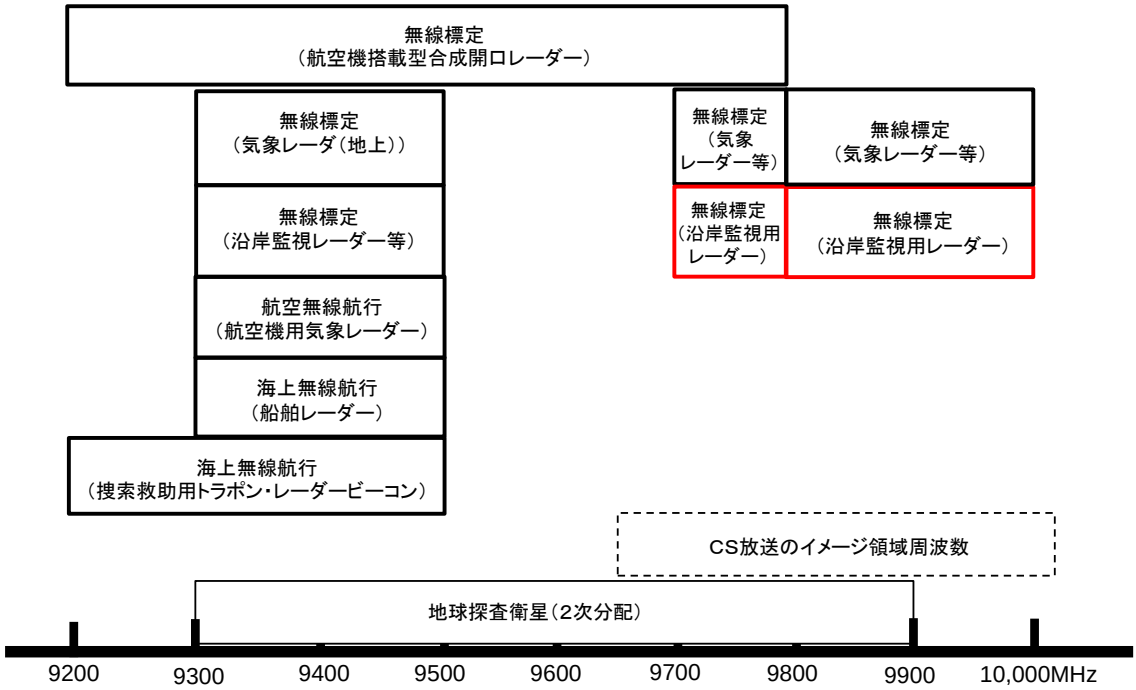
9,300-9,500MHz 帯は、主として捜索救助用レーダートランスポンダ用、気象レーダー用、航空無線航行用レーダー（航空機用気象レーダー）及び海上無線航行用レーダー（船舶レーダー）に利用されており、沿岸監視用レーダーとしては、船舶レーダーと同じ技術基準により無線局免許を受けて利用されているものがある。

9,500-9,800MHz 帯は、沿岸監視用レーダー、災害対策・水防用の気象レーダーに利用されている。なお、既存の沿岸監視用レーダーは、マグネトロン方式のものに限られており、固体素子型のものを導入するためは新たに技術基準を策定する必要がある。

9,800-10,000MHz 帯は、気象レーダーに利用されている。

【表 1-2　X 帯の周波数分配状況】

国際分配（MHz）			国内分配（MHz）		無線局の目的	周波数の使用に関する条件
第一地域	第二地域	第三地域				
8850-9000	無線標定 海上無線航行		8850-9000	海上無線航行 無線標定	公共業務用 一般業務用	
9000-9200	航空無線航行 無線標定		9000-9200	航空無線航行 無線標定	公共業務用	
9200-9300	海上無線航行 無線標定 地球探査衛星（能動）		9200-9300	海上無線航行	公共業務要 一般業務用	捜索救助用レーダートランスポンダ用とする。
				無線標定 地球探査衛星（能動）	公共業務要 一般業務用	
9300-9500	無線航行 無線標定 地球探査衛星（能動） 宇宙研究（能動）		9300-9500	海上無線航行	公共業務用 一般業務用	捜索救助用レーダートランスポンダ用及び船舶無線航行用レーダー用とする。
				航空無線航行	公共業務用 一般業務用	航空機無線航行用レーダー用とする。
				無線標定 地球探査衛星（能動） 宇宙研究（能動）	公共業務用 一般業務用	
9500-9800	無線標定 無線航行 宇宙研究（能動） 地球探査衛星（能動）		9500-9800	無線標定 地球探査衛星（能動） 宇宙研究（能動）	公共業務用 一般業務用	
9800-9900	無線標定 固定 地球探査衛星（能動） 宇宙研究（能動）		9800-9900	固定 無線標定 地球探査衛星（能動） 宇宙研究（能動）	公共業務用 一般業務用	
9900-10000	無線標定 地球探査衛星（能動） 固定		9900-10000	固定 無線標定 地球探査衛星（能動）	公共業務用 一般業務用	



【図 1-2　X 帯の周波数使用状況】

第２章　検討の内容

2.1 検討の範囲

X 帯の周波数は、沿岸監視用レーダーとしては既に 9,400MHz 帯及び 9,740MHz 帯の周波数を利用したマグネトロン方式のものが実用化されており、テロ対策や重要拠点のセキュリティ対策等に利用され、昨今、需要が高まっている。

本検討においては、9,740MHz 帯に新たに半導体素子を用いた固体化方式のレーダーを導入すること及び 9,800MHz 帯を新たに沿岸監視用レーダーに利用することを目的として、技術基準を策定及び当該周波数帯を利用する他の無線局等との共用条件について検討を行った。

なお、9,400MHz 帯については、従前より船舶レーダー及び航空レーダーに広く利用されているが、当該周波数帯を沿岸監視用レーダーとして使用する場合は、従前どおりに船舶レーダーと同等の技術基準を用いて、船舶及び航空機の航行に悪影響を与えない範囲で運用することを条件に無線局免許を行っていくことが適当であると考える。

2.2 検討結果

2.2.1 沿岸監視用レーダーに関する国際動向及び将来動向

諸外国における沿岸監視用レーダーの運用状況（技術基準や共用条件に係る電波諸元、探知能力等）及び将来動向を調査して、新周波数への拡張時に国内の技術基準に反映する際及び今後の当該レーダーの国際標準化活動を行う際の課題点等を抽出する。

国際的なルールのもと、各国でルールが設けられているため国際的な組織・機関の動向を把握することが重要である。そのため、まずは、国際的な動向を把握するため沿岸監視用レーダーに関わる規程やガイドライン、それらを発行する組織・機関を特定した。沿岸監視用レーダーに関わる国際的な組織、関連文書を2.2.1.1項に記す。

周波数がひっ迫する場合の対応策検討の参考とするため、2.2.1.2 項において主要な諸外国（米国、英国、仏国、オランダ、ノルウェー）の動向、特に沿岸監視用レーダーに割り当てられる電波の周波数を調査した。また、沿岸監視用レーダーの技術基準を策定するためには、周波数以外の沿岸監視用レーダーの典型的な諸元も把握することが求められることから、2.3.2.3 項及び 2.3.2.4 項において国際的な規格やガイドラインを整理するとともに沿岸監視用レーダー市場の調査を行った。市場調査を通じて沿岸監視用レーダー設置の将来動向を把握するとともに、沿岸監視用レーダーの主要メーカーの製品諸元を整理した。最後に、国際的な電波干渉の実態を把握するため、日本以外の国における沿岸監視用レーダーの関わる電波干渉の状況についても整理した。

2.2.1.1 沿岸監視用レーダーに関する国際的な組織・機関、規程、ガイドライン

沿岸監視用レーダーの規定に関係する組織は複数存在する。国際的には、無線通信に関する規則を規定する ITU-R、海事を管轄する IMO、航路標識システムの設置又は維持並びにその関連事業に関する機関等によって構成される非政府機関の IALA が関連する規程やガイドラインを発行している。欧州では、無線通信の政策を扱う CEPT、電気通信産業の標準化機関である ETSI が関連文書を発行しており、地域的な影響力を持っている。以上の国際的な取り決めとともに、各国の規制当局が無線システムを管轄している。沿岸監視レーダーに関係する機関・組織および代表的な関連文書を図 2-1 に、関連文書の概要を表 2-1 に示す。

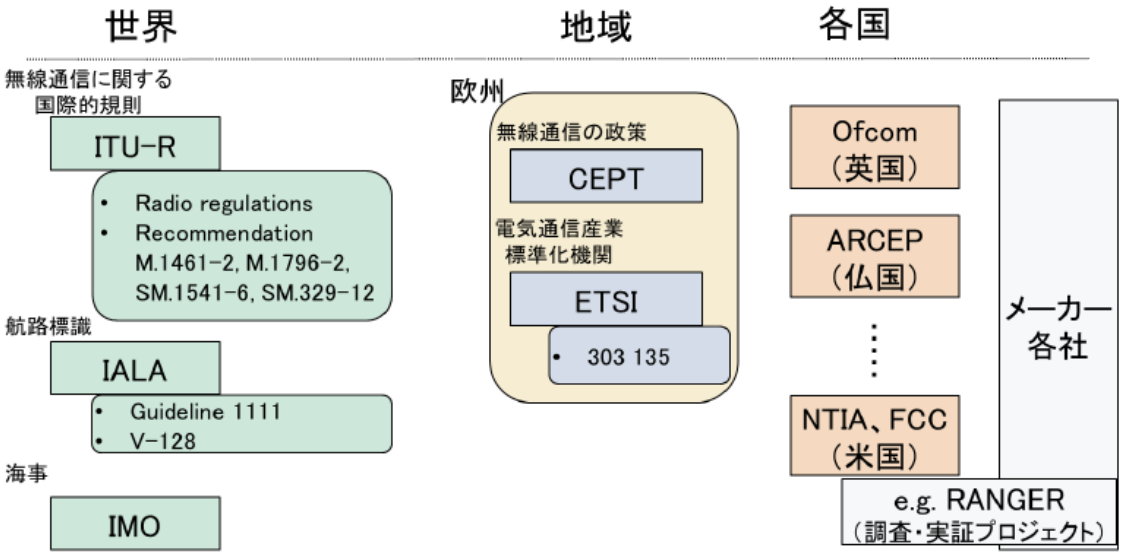


図 2-1 沿岸監視用レーダーの規程に関係する組織・機関及び代表的な関連文書

表 2-1 沿岸監視用レーダーに関わる規程及び関連文書の概要

文書名	概要
ITU-R M.1461-2	無線標定レーダーとその他の無線システムとの間の干渉可能性を判断する手順を示している。
ITU-R M.1796-2	8,500-10,680MHz の周波数帯の電波を使用している無線標定システムの技術的及び運用面の条件や保護基準を規定している。 無線標定システムとその他の無線システムの両立を検討する ITU-R M.1461 の分析をサポートする意図で作られている。
ITU-R SM.1541-6	9kHz-300GHz の周波数帯用のトランスミッターのスプリアス発射の限度を規定している。
ITU-R SM.329-12	不要発射の限度及びその測定手法を規定している。
IALA Guideline 1111※	VTS(Vessel Traffic Service: 船舶通航支援等業務)当局が、VTS システムの定義、仕様、設置、運用、更新を準備するのを補助するため、VTS システムの運用要件と技術的条件の関係、更にこれらがどのようにシステムのデザイン及び要件に反映されるかを示す。
IALA Recommendation V128	管轄当局と VTS 当局が VTS の設立と運用に関する SOLAS 条約に基づく義務を果たすためのガイドラインを提供することを目的としている。特に、VTS システムの決定、運用及び保守に関するガイダンスを提供する。
ETSI 303	沿岸監視用レーダーや VTS のようなレーダーに対する RE Directive の要求事項に適合するための方法を示す。

※ IALA Guideline 1111： 本報告書においては、「IALA GUIDELINE 1111 Preparation of Operational and Technical Performance Requirements for VTS Systems Edition 1.0 May 2015」を示す。

2.2.1.2 諸外国における X 帯の周波数割当状況

英国、仏国、ノルウェー、オランダ、米国における 8,850-10,000MHz 帯の周波数割当計画を表 2-2、表 2-3 及び表 2-4 に示す。また、米国における当該周波数帯の周波数割当てに関する関連脚注を表 2-5 に示す。

表 2-2 英国、仏国における 8,850-10,000MHz 帯の周波数割当状況

周波数 (MHz)	英国		仏国	
	分配	目的	分配	目的
8850-9000	MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	UWB application, Radiodetermination applications, Other	MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	Defence systems, Radiolocation (military), Maritime military systems, Maritime radar, Maritime navigation, Other, Aeronautical
9000-9200	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	UWB application, Radiodetermination applications, Other, Maritime radar, Aeronautical surveillance	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION, MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	Aeronautical, Maritime navigation, Maritime radar, Maritime military systems, Aeronautical military systems, Defence systems
9200-9300	RADIOLOCATION MARITIME RADIONAVIGATION, EARTH EXPLORATION-SATELLITE(active)	UWB application, Radiodetermination applications, Other, Maritime radar	9200-9225 EARTH EXPLORATION-SATELLITE, MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	Defence systems, Maritime military systems, Maritime radar, Maritime navigation, Aeronautical, Synthetic aperture radar
			9225-9280 EARTH EXPLORATION-SATELLITE, MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	Synthetic aperture radar, Aeronautical, Maritime navigation, Maritime radar, Defence systems
			9280-9300 EARTH EXPLORATION-SATELLITE, MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	Defence systems, Maritime military systems, Maritime radar, Maritime navigation, Aeronautical, Synthetic aperture radar
9300-9500	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active), SPACE RESEARCH(active), RADIOLOCATION, RADIONAVIGATION	UWB application, Radiodetermination applications, Other, Maritime radar, Aeronautical navigation, Aeronautical surveillance	EARTH EXPLORATION-SATELLITE, RADIOLOCATION, RADIONAVIGATION, SPACE RESEARCH	Synthetic aperture radar, Satellite systems (military), Other, Aeronautical, Maritime navigation, Maritime radar, Weather radar, Maritime military systems, Aeronautical military systems, Defence systems
9500-9800	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active), RADIOLOCATION, SPACE RESEARCH(active)	UWB application, Radiodetermination applications, Other	EARTH EXPLORATION-SATELLITE, RADIOLOCATION, SPACE RESEARCH	Synthetic aperture radar, Aeronautical, Defence systems
9800-9900	RADIOLOCATION, Earth exploration-satellite (active), Space research (active)	UWB application, Radiodetermination applications, Other	EARTH EXPLORATION-SATELLITE, RADIOLOCATION, SPACE RESEARCH	Synthetic aperture radar, Defence systems, Other
9900-10000	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active), RADIOLOCATION	UWB application, Radiodetermination applications, Other	EARTH EXPLORATION-SATELLITE, Meteorological-Satellite, RADIOLOCATION	Synthetic aperture radar, Defence systems, Other

表 2-3 ノルウェー、オランダにおける 8,850-10,000MHz 帯の周波数割当状況

周波数 (MHz)	ノルウェー		オランダ	
	分配	目的	分配	目的
8850-9000	MARITIME RADIONAVIGATION, Space Research, RADIOLOCATION	UWB applications, Radiolocation (civil), Radiodetermination applications, Radiolocation (military), Aeronautical military systems, Aeronautical navigation	MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION	Defence systems
9000-9200	RADIOLOCATION, AERONAUTICAL RADIONAVIGATION, Space Research	Aeronautical navigation, Aeronautical military systems, Radiolocation (military), Radiodetermination applications, Radiolocation (civil)	RADIOLOCATION, MARITIME RADIONAVIGATION, AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	Defence systems
9200-9300	RADIOLOCATION MARITIME RADIONAVIGATION, Space Research, EARTH EXPLORATION-SATELLITE(active)	Synthetic aperture radar, Radiolocation (civil), Radiodetermination applications, Radiolocation (military), Aeronautical military systems, Aeronautical navigation	MARITIME RADIONAVIGATION, RADIOLOCATION, Mobile	Defence systems
9300-9500	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active), RADIONAVIGATION RADIOLOCATION, SPACE RESEARCH(active)	Aeronautical navigation, Aeronautical military systems, Radiolocation (military), Satellite systems (military), Weather radar, Radiodetermination applications, Radiolocation (civil)	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (ACTIVE), Mobile, RADIOLOCATION, SPACE RESEARCH(active), RADIONAVIGATION	Defence systems
9500-9800	SPACE RESEARCH(active), RADIOLOCATION, EARTH EXPLORATION-SATELLITE (ACTIVE)	Radiolocation (civil), Active sensors (satellite), Radiodetermination applications, Satellite systems (military), Radiolocation (military), Aeronautical military systems, Aeronautical navigation	Mobile, SPACE RESEARCH(active), RADIOLOCATION, EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active)	Defence systems
9800-9900	Earth Exploration-Satellite (active), RADIOLOCATION, Space Research (active)	Aeronautical navigation, Aeronautical military systems, Radiolocation (military), Satellite systems (military), Radiolocation (civil), Radiodetermination applications	Earth Exploration-Satellite (active), Mobile, RADIOLOCATION, Space Research (active)	Defence systems
9900-10000	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active), RADIOLOCATION, Fixed	Radiodetermination applications, Synthetic aperture radar, Radiolocation (civil), Satellite systems (military), Radiolocation (military), Aeronautical military systems, Aeronautical navigation	RADIOLOCATION, Mobile	Defence systems

表 2-4 米国における 8,850-10,000MHz 帯の周波数割当状況

周波数 (MHz)	米国		FCC Rule
	Federal	Non-Federal	
8850-9000	RADIOLOCATION G59 US53	Radiolocation US53	Aviation (87) Private Land Mobile (90)
9000-9200	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION RADIOLOCATION G2 5.473A G19	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION 5.337 Radiolocation	
9200-9300	MARITIME RADIONAVIGATION 5.472 Radiolocation US110 G59 5.474	MARITIME RADIONAVIGATION 5.472 Radiolocation US110 5.474	Maritime (80) Private Land Mobile (90)
9300-9500	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active) RADIOLOCATION G56 RADIONAVIGATION US475 SPACE RESEARCH (active) Meteorological acids 5.427 5.474 5.475A 5.475B US67 US71 US476A	RADIONAVIGATION US475 Meteorological aids Earth exploration-satellite (active) Radiolocation Space research (active) 5.427, 5.474 US67 US71 US476A	Maritime (80) Aviation (87) Private Land Mobile (90)
9500-9800	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (active) RADIOLOCATION SPACE RESEARCH (active)	Earth exploration-satellite (active) Radiolocation Space research (active)	Private Land Mobile (90)
9800-9900	RADIOLOCATION Earth exploration-satellite (active) Space research (active)		
9900-10000	RADIOLOCATION 5.479	Radiolocation 5.479	

表 2-5 米国における 8,850-10,000MHz 帯の周波数割当に関する関連脚注

脚注番号	内容
US53	In view of the fact that the band 13.25-13.4 GHz is allocated to doppler navigation aids, Federal and non-Federal airborne doppler radars in the aeronautical radionavigation service are permitted in the band 8750-8850MHz only on the condition that they must accept any interference that may be experienced from stations in the radiolocation service in the band 8500-10000 MHz.
US67	The use of the band 9300-9500 MHz by the meteorological aids service is limited to ground-based radars. Radiolocation installations will be coordinated with the meteorological aids service and, insofar as practicable, will be adjusted to meet the requirements of the meteorological aids service.
US71	In the band 9300-9320 MHz, low-powered maritime radionavigation stations shall be protected from harmful interference caused by the operation of land-based equipment.
US110	In the band 9200-9300 MHz, the use of the radiolocation service by non-Federal licensees may be authorized on the condition that harmful interference is not caused to the maritime radionavigation service or to the Federal radiolocation service.
US475	The use of the band 9300-9500 MHz by the aeronautical radionavigation service is limited to airborne radars and associated airborne beacons. In addition, ground-based radar beacons in the aeronautical radionavigation service are permitted in the band 9300-9320 MHz on the condition that harmful interference is not caused to the maritime radionavigation service.
US476A	In the band 9300-9500 MHz, Federal stations in the Earth exploration-satellite service (active) and space research service (active) shall not cause harmful interference to, nor claim protection from, stations of the radionavigation and Federal radiolocation services.
G19	Use of the band 9000-9200 MHz by military fixed and shipborne air defense radiolocation installations will be fully coordinated with the aeronautical radionavigation service, recognizing fully the safety aspects of the latter. Military air defense installations will be accommodated ultimately out-side this band. Until such time as military defense installations can be accommodated satisfactorily elsewhere in the spectrum such operations will, insofar as practicable, be adjusted to meet the requirements of the aeronautical radionavigation services.
G56	Federal radiolocation in the bands 1215-1300, 2900-3100, 5350-5650 and 9300-9500 MHz is primarily for the military services; however, limited secondary use is permitted by other Federal agencies in support of experimentation and research programs. In addition, limited secondary use is permitted for survey operations in the band 2900-3100 MHz.
G59	In the bands 902-928 MHz, 3100-3300 MHz, 3500-3650 MHz, 5250-5350 MHz, 8500-9000 MHz, 9200-9300 MHz, 13.4-14.0 GHz, 15.7-17.7 GHz and 24.05-24.25 GHz, all Federal non-military radiolocation shall be secondary to military radiolocation, except in the sub-band 15.7-16.2 GHz airport surface detection equipment (ASDE) is permitted on a co-equal basis subject to coordination with the military departments.

主要各国の規制当局の公開資料に基づき想定される、沿岸監視用レーダーの使用周波数を表 2-6 に整理する。この表によれば、現状においては、X 帯のうち 9.5GHz 以下の周波数を使用している国の例が多く見られる。

表 2-6 主要各国における沿岸監視用レーダーの使用周波数

国名	利用周波数	規制当局
英国	・9,000-9,500MHz Maritime Navigational Aids and Radar	Ofcom
仏国	・8,850-9,500MHz Maritime radar	ARCEP
ノルウェー	・未特定	Nkom
オランダ	・未特定	ACM
米国	・9,200-9,500MHz Maritime (FCC) ・9,300-9,500MHz Harbor Surveillance (Coast Guard)	・NTIA ・FCC
日本	・9,410MHz 帯 ・9,740MHz 帯	総務省

2.2.1.3 国際規格における沿岸監視用レーダーのスペックモデル

無線標定システムの技術的および運用面の条件や保護基準を規定している ITU-R M.1796-2（Characteristics of and protection criteria for terrestrial radars operating in the radiodetermination service in the frequency band 8500-10680 MHz）では、8.50-10.68GHz 帯の周波数を使用するシステムのレーダースペックモデルを提示している。監視（Surveillance）目的（Function）のレーダーとしては A12、S10、S12 及び S17 モデルが提示されている。一方で、沿岸（Coastal）に設置されるもの（Platform type）は S12 及び S13 の 2 つのレーダースペックモデルが示されている。ITU-R M.1796-2 における沿岸設置レーダーのスペックモデル例を表 2-7 に示す。

表 2-7 ITU-R M.1796-2 における沿岸設置レーダーのスペックモデル例

Characteritics	Units	System S12 (Vessel or Coastal)	System S13 (Vessel and Coastal)
Function		Surveillance radar	Marine navigation radar
Tuning range	MHz	9000-9200 9225-9500	9200-9500
Modulation		V7N	Continuous wave (CW) pulse for short range Non-Linear frequency modulated chirp pulse for long range (Chirp bandwidth is 20 MHz)
Peak power into antenna	kW	0.05-0.1	0.17 nominal 0.20 peak
Pulse width and Pulse repetition rate	µs pps	0.150-40 1000-5000	0.1, 5, 33 µs wide pulses with pulse repetition repetition intervals of 12, 64 and 365 µs and 2267 effective PRF
Maximum duty cycle		0.2	13%
Pulse rise/fall time	µs	Around 0.02	Around 0.02
Output device		Solid state	Solid state
Antenna pattern type		Fan beam	Fan
Antenna type		Slotted waveguide	Slotted array
Antenna polarization		Horizontal	Horizontal
Antenna main beam gain	dBi	≥ 34	32.7 or 34.5
Antenna elevation beamwidth	degrees	≤ 16º @ −3 dB / ≤ 55º @ −20 dB	25
Antenna azimuthal beamwidth	degrees/s	≤ 0.6º @ −3 dB	<0.7 or <0.45
Antenna horizontal scan rate	degrees/s	10-48 RPM	12 or 24 RPM
Antenna horizontal scan type (continuous, random, sector, etc.)		Continuous or sectors	Continuous
Antenna vertical scan rate	degrees/s	-	-
Antenna vertical scan type (continuous, random, sector, etc.)		-	±60° Electronic scan ±120° with additional mechanical repositioner
Antenna side-lobe (SL) levels (1st SLs and remote SLs)	dBi	1.5°-5° < 6 5°-10° < 4 > 10° < −1	26
Antenna height		Installation dependent	Ship size dependent
Receiver IF 3 dB bandwidth	MHz	180 (analogue) resolution BW is 12.5 or 25	15, 0.1875 and 0.0375
Receiver noise figure	dB	2.5	5.5
Minimum discernible signal	dBm	-130 equivalent after pulse compression	-125
Total chirp width	MHz	6 × 35 = 210 (−3 dB BW)	20
RF emission bandwidth − 3 dB − 20 dB	MHz	Depending on profiles setup. Normally the full band is used so the −20 dB BW stays within the frequency band 9225-9500 MHz and the −3 dB BW is the combined BW of all centre frequencies used. Default individual chirp −3 dB BW is 35	-3dB: 15 (short range) -3dB: 20 (long range) -20dB: 18 (short range) -20dB: 22 (long range)
Dynamic range	dB		125
Minimum number of proceeded puses			32 pulses integrated (12 RPM) 16 pulses integrated (24 RPM)

IALA が発行するガイドライン「IALA Guideline 1111」では、レーダータイプは、“Basic”、“Standard”及び“Advanced”の３つに区分されている。IALA Guideline 1111 におけるレーダータイプごとの探知能力を表 2-8 に示す。探知可能なターゲットの大きさ、レーダー解像度の具体的な数値が提示されており、“Basic”、“Standard”、“Advanced”の順に標的物までの距離が同じ条件下で、より小さな標的物を探知できる。

表 2-8 IALA Guideline 1111 におけるレーダータイプ毎の探知能力

ターゲットタイプ	代表的なターゲット	レーダータイプごとの探知能力		
		Basic	Standard	Advanced
1	レーダー反射器のない航路標識、小さい無甲板船、小さい快速艇・漁船・帆船			✓
2	沿岸漁船、帆船、快速艇		✓	✓
3	レーダー反射器付航路標識	✓	✓	✓
4	鋼船、漁船、パトロール船	✓	✓	✓
5	沿岸貿易船	✓	✓	✓
6	大きな沿岸貿易船、バルク船、貨物船	✓	✓	✓
7	コンテナ船、タンカー	✓	✓	✓

2.2.1.4 沿岸監視用レーダーの市場

沿岸監視用レーダーに関する国内外の市場動向を以下に示す。また、沿岸監視用レーダーの主要メーカーの製品の諸元例についても調査結果を記載する。

(1) 沿岸監視用レーダーを取り巻く市場動向

沿岸監視用レーダーの世界の市場規模は2023年に世界で7.73億米ドルとされており、2030年までに10.13億米ドルになると予想され、年平均の市場成長率は４%になると期待されている（出所：Global Coastal Surveillance Market 2024 by Manufacturers, Regions, Type and Application, Forecast to 2030 (Global Info Research)より）。本調査検討においてはX帯の沿岸監視用レーダーの技術的条件を策定するための検討を実施しているが、欧州の実証プロジェクトRANGER（Radars for loNG distance maritime surveillance and SaR operations）においては沿岸監視用レーダーを単体で用いた監視だけでなく様々な機器を統合した統合的な監視システムの検討が行われ、沿岸監視用レーダーの市場環境について報告されている。

実証プロジェクトRANGERは、沿岸監視用レーダーを製造している一部企業が含まれるコンソーシアムが最先端の技術を用いてSurveillance radar system（RANGER Solution）提案するプロジェクトである。当該コンソーシアムのメンバーは、EXUS Software LTD (UK)、DigineXt Sarl (France)、Institute of Communication and Computer Systems (Greece)、Technishe Universitae Dresden (Germany)、LAUREA-Ammattikorkeakoula OY (Finland)、LEONARDO S.p.A. (Italy)、Telesto Technologies Pliroforikis kai Epikoinonion EPE (Greece)、NATO Science and Technology Organization (Belgium)、Ministry of National Defence (Greece)及びMinistere de la Transition ecologique et solidaire (France)である。

RANGERプロジェクトの一環で、関連法規の調査（Alignment with regulations and

environmental standards2）や市場調査（Market Analysis3）が行われた。海事監視用レーダー（システム）の主な使用目的は、海事安全管理（海上航行の安全性・効率性向上、救助、テロ防止、港湾安全管理等）、国境管理・監視（違法入国の監視等）、漁業監視（不法漁業の監視等）、密輸出入監視（違法物・適法物を密輸する船舶の監視等）、環境監視（油漏れ、廃液漏れの監視等）その他一般的な法執行の補助（海辺に適用される法令の遵守を促進するための監視）とされている。利用される周波数帯はX帯だけではなく、HF帯（3-30MHz）やS帯（2-4GHz）を利用するレーダーも存在する。

RANGER SolutionはOTH（Over-The-Horizon）レーダー（水平線を超えて観測可能な、HF波高計）と、PE-MIMOレーダー（数km以上の近距離を観測できる）からなっている。レーダーのスキャン方法には3通り（“mechanical”，“phased array”，“multiple-input multiple-output（MIMO）”）あるが、そのうちMIMO手法を用いている。RANGER Solutionの競合となるシステムとして巡視船、衛星、遠隔操作可能な航空機、気球、海事監視航空機が想定されている。

X帯沿岸監視用レーダーは単体の利用のみならず統合的な監視システムの中に位置づけられる。今後沿岸監視用レーダー単体の市場動向のみならず、統合的な監視システムについての動向も把握することが重要と考えられる。

(2) 沿岸監視用レーダーの製品諸元

沿岸監視用レーダーの国内外主要メーカーの製品諸元例を表 2-9 及び表 2-10 に示す。

表 2-9 海外主要メーカーの沿岸監視用レーダーの製品諸元例

メーカー	Thales（仏国）	Terma（デンマーク）	Raytheon（米国）	ELTA Systems（IAI）（イスラエル）	Hensoldt（ドイツ）	GEM Electronics（イタリア）
製品名	Coast Watcher 100	SCANTER2200, 5000, 4000	SMARTBLUE	ELM-2226 ACSR	SBS-800, 900	Sentinel
アンテナ長さ	-	3, 6 m	2.4, 3.7, 5.5 m	-	-	3.7, 5.8, 6.4 m
周波数帯	8-12 GHz	9.3-9.5 GHz, 9.0-9.2, 9.25-9.5 GHz, 9.0-9.2 GHz	9.410 ± 0.03 GHz	-	9.21-9.49 GHz , 9.01-9.49 GHz	9.225-9.500 GHz
占有周波数帯幅	-	-	-	-	-	-
空中線電力／マグネトロンor固体素子	<1 kW（固体素子）	80 W, 50-200 W, 3, 6 kW（固体素子）	25 kW	5, 50 W（固体素子）	<300 W, <300 W（固体素子）	<400 W（固体素子）
アンテナ利得	-	-	31, 32.7, 34.5 dBi	-	32.5, 34.5 dBi, 34.5, 36 dBi	32.5, 35, 38 dBi
アンテナ回転数	6-10 rpm	-, 6-60 rpm, 6-48 rpm	18-40, 18-26, 18-26 rpm	-	6-20 , 5-20 rpm	11-22, 16-22, 6-22 rpm
水平ビーム幅	-	-	0.95, 0.7, 0.45	-	0.7, 0.45, 0.43, 0.38	0.65, 0.42, 0.35
垂直ビーム幅	-	-	24.4, 25, 25	-	25, 25, 14	22, 18, 11
最大探知距離	100 NM	48, 96, 96 NM	-	-	48 NM	96 NM
備考	-	-	-	Linear FMCW	-	-

出典：各社カタログより

表 2-10 日本国内メーカーの沿岸監視用レーダー等の製品諸元例

メーカー	日本無線（日本）				古野電気（日本）	
製品名	JPL-600-2ER1-6, JPL-600-2ER2-9, JPL-600-2ER2-9J	NKE-326, 330	NKE-339, 336	NKE-351, 352, 353, 354, 355, 356	XN-12AF, 20AF, 24AF	DRS6A-NXT, DRS12A-NXT, DRS25A-NXT
アンテナ長さ	1.8, 2.7, 2.7 m	2.7 m	2.7 m	5.5 m	1.2, 1.8, 2.4 m	1.1, 1.2, 1.8 m
周波数帯	9.410, 9.410, 9.740 GHz	9.410, 9.740 GHz	9.410, 9.740 GHz	9.375, 9.740 GHz	9.410 ± 0.03 GHz	Ch, P0N, Q0N #1, 9.38, 9.40 #2, 9..40, 9.42 #3, 9.42, 9.44 GHz
占有周波数帯幅	-	-	-	-	<40 MHz	-
空中線電力／マグネトロンor固体素子	10, 25, 25 kW	25 kW（マグネトロン）	25 kW（マグネトロン）／0.2 kW（固体素子）	25 kW（マグネトロン）／0.2 kW（固体素子）	12, 25, 30 kW（マグネトロン）	25, 100, 200 W（固体素子）
アンテナ利得	-	-	-	-	-	-
アンテナ回転数	27, 24, 24 rpm	24 rpm	24 rpm	22 rpm	24, 42 rpm	24/36/48 rpm
水平ビーム幅	-	-	-	-	1.9, 1.23, 0.95	2.3, 1.9, 1.4
垂直ビーム幅	-	-	-	-	20	22
最大探知距離	-	-	-	-	-	72, 96, 96 NM
備考	-	-	-	-	-	-

出典：各社カタログより

(3) 市場動向及び電波干渉状況に関する国内メーカーの意見

沿岸監視用レーダー製品に関する海外の市場動向や電波干渉状況等について、日本国内メーカーからヒアリングした結果を以下に示す。

表 2-11 日本国内メーカーからのヒアリング結果概要

カテゴリー		詳細な動向
設置場所・目的	既存の動向	• 重要な港湾、重要な河川港を中心に設置されてきた。市場としては、これら既に設置されている沿岸監視用システムを更新する需要も存在する。
	今後想定される動向	• 中小クラスの港、石油の備蓄基地、船が行き交う河川等にも設置が進むと考えられる。 • 将来、自律運航船舶の導入がなされると沿岸域の陸側にセンサーを設置する目的で、沿岸監視用レーダーの設置が増える可能性もある。
地域毎の市場動向	各地域の市場	• 欧州・北米は、メーカー、SIerが多く存在し、それぞれの地域の事業者がその地域の市場を占有する傾向にある。 • 南米は歴史的な経緯もあり欧州の影響力が大きく、地理的に北米の影響力も受けており、これらの地域のメーカーの独占状況にある。 • アフリカは設置数が少なく、今後市場の成長が期待される。南アフリカやケニアには欧州メーカー製のものが設置されている。
	日本メーカーの市場	• 日本からはベトナム、フィリピン、インドネシア等のアジア圏への輸出が多い。
求められるレーダースペック	各レーダースペックに対する需要（IALAガイドライン）	• IALAガイドラインにおけるカテゴリ“Basic”、“Standard”、“Advanced”それぞれに需要がある。 • “Basic”カテゴリに該当する沿岸監視用レーダーに特化して製造しているメーカーは少ない。ただし“Basic”カテゴリの製品は価格も比較的安く抑えられることから、アジア地域等で需要がある。 • 国際入札の場合にはIALAガイドラインにおける“Standard”以上のスペックが要求される傾向にあり、今後は広範囲を探知可能で解像度の高い製品への需要が高まると思われる。
	レーダー固体化に関する動向	• マグネトロンレーダーの使用を勧める団体は存在するものの、大きな港に設置する沿岸監視用レーダーについては固体化する動向がある。マグネトロンレーダーの方が廃棄物量に関連する環境負荷の観点、使用電力の大きさに関連した使用上の安全性の観点で優れている。

① 沿岸監視用レーダーの設置目的

重要な港湾、重要な河川港を中心に、これまで VTS が設置されてきた。既に大きな港では何かしらの監視用システムが設置されている。市場としては、既に設置されている沿岸監視用システムを更新する需要も存在する。加えて、今後は中小クラスの港、石油の備蓄基地、船が行き交う河川等にも設置が進むと考えられる。将来、自律運航船舶の導入がなされると沿岸域の陸側にセンサーを設置する目的で、沿岸監視用レーダーの設置が増える可能性もある。

② 地域毎の市場動向

欧米には多くのメーカーや SIer（システムインテグレーター）が存在し、それぞれの地域の事業者がその地域の沿岸監視用システムの市場を抑えている傾向にある。

南米では、歴史的な経緯もあり欧州の影響力が大きく、地理的に北米の影響力も受けており、これら地域のメーカーが多くの沿岸監視用レーダーを同地域に納入している。

アフリカでは、沿岸監視用レーダーの設置数そのものが少なく、今後市場の成長が期待される。

南アフリカやケニアにおいては、欧州メーカー製のものが多く設置されている。

なお、日本からは、ベトナム、フィリピン、インドネシア等のアジア圏への輸出が多い状況である。

③ 沿岸監視用レーダーに求められるスペック

IALA Guidelineにおけるカテゴリ“Basic”、“Standard”、“Advanced”それぞれに需要がある。“Basic”カテゴリに該当する沿岸監視用レーダーに特化して製造しているメーカーは数少ないが、“Basic”カテゴリの製品は価格も比較的安く抑えられることから、アジア地域等で需要がある。一方で国際入札の場合には“Standard”以上の高い探知能力が要求される傾向にあり、今後は広範囲を探知可能で解像度の高い製品への需要が高まると考えられる。

また近年はレーダーの固体化が進んでいる。マグネトロンレーダーの使用を勧める団体は存在するものの、大きな港に設置する沿岸監視用レーダーについては固体化する動向がある。固体化方式のレーダーの方が廃棄物量に関連する環境負荷の観点、使用電力の大きさに関連した使用上の安全性の観点で優れている。

④ 沿岸監視用レーダーに関する電波干渉問題の状況

沿岸監視用レーダー設置前に現地調査を行い、電波干渉が問題とならないことを確認している。マラッカ海峡では、インドネシア、シンガポール、マレーシアにそれぞれレーダーが設置されているが、沿岸監視レーダー局間の電波干渉が運用に影響を及ぼしているという事例は把握していない。海外では沿岸監視用レーダーの設置場所周辺に他のレーダーが設置されている事例が現状少ないことがひとつの要因と考えられる。周波数に余裕がある国では干渉が問題になっていない場合もあると考えられる。

2.2.1.5 国際動向及び将来動向に関するまとめ

2.2.1項では、X帯沿岸監視用レーダーを取り巻く状況を調査し、X帯沿岸監視用レーダーの周波数帯を含む技術的条件の検討に資する情報の整理を行った。

日本国内においては、沿岸監視用レーダーは9.4-9.5GHz帯又は9.7-9.8GHz帯の電波を利用しているが、周辺帯域にはX帯の電波を利用するシステムが多数存在している。特に今後設置数が増加することが見込まれる気象レーダーは、沿岸監視用レーダーとの干渉が懸念される状況にある。国際的には沿岸監視用レーダーは9.4GHz周辺の周波数の電波を利用している事例が多く見られるが、当該周波数帯は航空機搭載レーダー等に多く利用されている周波数帯であり、諸外国においても沿岸監視用レーダーに関わる電波干渉が問題となる可能性があり、沿岸監視用レーダーが9.4GHz周辺以外の周波数の電波を利用するための検討が必要である。

一方、沿岸監視用レーダーに関わるガイドラインとして注視すべきものにIALA1111がある。IALA1111では沿岸監視用レーダーを探知能力別に“Basic”、“Standard”、“Advanced”の3段階に区分し、各レーダーモデルで求められるスペックを定義している。沿岸監視用レーダーの設置目的が多様化しその設置数が増加する傾向があるほか、国際入札では“Standard”スペックが要求される等、探知能力が比較的高い“Standard”モデルの導入も今後進んでいく可能性がある。

X帯沿岸監視用レーダーの周波数帯を含む技術的条件の検討においては、比較的高いスペックを持つ“Standard”モデルを検討の中心に据え、周辺の周波数を利用するシステムの設置動向を念頭に置いて干渉可能性を調査・検討することが求められる。

以上のことから、本報告書においては、沿岸監視用レーダーがユーザーから求められるスペックを実現しつつ、他の電波利用システムとの干渉可能性が許容されるようにレーダーの技術的条件を検討することとした。

2.3 他の無線システムとの共用条件

本検討において沿岸監視用レーダーの対象周波数とした 9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯及びその周辺の周波数帯を利用する他の無線システムとの共用条件について、以下のとおり検討した。

2.3.1 陸上設置気象レーダーとの共用

陸上設置気象レーダーとの共用条件の考え方は以下のとおり。

【沿岸監視用レーダーがマグネトロン方式の場合】

従前どおり、帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値に従うことにより共用は可能である。

【沿岸監視用レーダーが固体化方式の場合】

・9,740MHz 帯：

現行のマグネトロン方式と同様、帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値に従うことにより共用は可能である。

・9,800MHz 帯：

送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していることで、共用は可能である。

なお、さらに、帯域内干渉のために送信スペクトラムの抑圧を考慮した離隔距離及び見通し環境などをもとに、運用者協議において合意されることが適当である。

2.3.2 航空機用気象レーダーとの共用

「X帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討調査報告書」における干渉シミュレーションの結果、9,740MHz帯及び9,800MHz帯のいずれについても、実際に航空機に搭載されている代表的な航空機気象レーダーの受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号がADC帯域内に折り返さない状態（シミュレーションでは-200dBの受信フィルタを想定）であれば、航空機搭載気象レーダー装置が干渉影響を考慮する必要はなく、共用は可能である。

ただし、今後、運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において運用調整を行うことが適当である。

2.3.3 9GHz 帯航空機搭載型合成開口レーダーとの共用

航空・海上無線通信委員会では、平成 27 年から平成 30 年までの間、9,200MHz から 9,800MHz までの周波数帯を利用する 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について検討を行っており、その中で 9GHz 帯航空機搭載型合成開口レーダーシステムと沿岸監視用レーダー（9,300MHz から 9,500MHz まで）との同一波による共用検討を実施している。

当該共用検討の内容は、地上試験及びフィールド試験等を行い、双方のレーダーに対する影響が最悪となるようなオフナディア角及び飛行ルートを設定して、レーダー波を照射し、干渉の有無を確認するというものであり、検討結果は、通常運用の干渉除去機能により双方のレーダーへの干渉は除去されることが確認されており、共用に問題はない、との検討結果が得られている。

この検討結果を踏まえ、沿岸監視レーダーとの共用に問題はない旨も含め、平成 30 年２月 13 日に情報通信審議会から「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」が一部答申された。

今回、帯域が拡張された沿岸監視レーダーのうち、9,700MHz から 9,800MHz までについては、9GHz 帯航空機搭載型合成開口レーダーと周波数が重複しているが、従来の検討の通り共用が可能であり、9,800MHz から 10GHz までについては、隣接周波数のため共用可能である。

2.3.4 CS 受信機との共用

CS 受信機への干渉は、総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会　気象レーダー作業班 X 帯サブ・ワーキング・グループ（第 11 回）　気レ X11-4「CS との共用条件整理」より X 帯沿岸監視用レーダー入射からの方向の CS アンテナ利得として-15dB を想定し、干渉試験を実施したが、CS 受信機から 30m 地点では干渉が確認できなかった。

そこで、電波無響室にて使用機材の X 帯沿岸監視用レーダー入射方向のアンテナ利得は-29.4dB であることがわかり 30m 離隔位置では干渉が発生しないことが分かった。

また以上を確認するため干渉が想定されるレーダー装置の直近 2m の地点に CS 受信機を移動し干渉試験を行った結果、干渉が発生することが確認できた。

なおアンテナ利得は個体差があることから技術的条件の検討では-15dB を用いている。

当該調査検討結果を踏まえ、以下の対策をとることで共用を諮ることとする。

【マグネトロン方式の場合】

沿岸監視用レーダーの開設に際して、「9GHz 帯気象レーダーを運用される方へ（平成 22 年 4 月 26 日 総務省総合通信基盤局電波部基幹通信課）」に基づく運用調整を行うこととする。ただし、当該周知文書の内容が改訂された際には、改訂版に基づいて運用調整を行うこととする。

なお、固体化方式での共用条件も遵守すること。

【固体化方式の場合】

沿岸監視用レーダーの開設に際して、CS 受信機に対する干渉閾値レベル(pfdIr)を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすることとし、CS 受信機への干渉影響が懸念される場合には、当該環境における共用検討を実施した上で、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われることを開設の条件とする。

2.3.5 他の X 帯沿岸監視用レーダーとの共用

沿岸監視用レーダーの開設に際して、周辺に他の沿岸監視用レーダーが設置されていることが確認できた場合には、既設の沿岸監視用レーダーに干渉しないよう、運用者間協議において運用調整を行うことが適当である。

第３章　技術的条件の検討

3.1 技術的条件の検討にあたっての考え方

X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件は、表 3-1 に示す検討方針により策定を行った。

周波数帯	現時点の導入状況	技術的条件の検討方針
8,900MHz 帯	未導入	複数周波数帯域における共用判定にて不適と考えられたため、運用外とする。
9,400MHz 帯	無線標定陸上局として電波法　関係審査基準に指示があり、無線設備規則第 48 条（船舶用レーダー）の技術的条件に従う。 【マグネトロン方式】 9,735MHz/9,410MHz/9,415MHz/9,445MHz 【固体化方式】 9,400MHz 帯/EIRP58dBW 以下 ※ＢＳ干渉抑制記載あり	・既に技術的条件が示され、他の無線システムと共用されている。以下の現行基準に従うこととする。 ･･･無線設備規則第 48 条 ･･･電波法関係審査基準 ・ただし他の無線システムと共用のため、帯域外領域の規定を追加する。
9,740MHz 帯	無線標定陸上局/沿岸監視用として電波法関係審査基準に指示がある。ただしマグネトロン方式のみ。 ※CS 干渉抑制の項目のみ	・既に運用される沿岸監視用の仕様を参考とし技術的条件を検討する。 ・他の無線システムに対する干渉抑制の技術的条件を含める。 ・固体化送信方式を含める。 ・送信方式（マグネトロン/固体化）に応じて技術的条件を提示する。
9,800MHz 帯	未導入	・IALA Guideline の Standard 区分に対応する無線設備として検討する。 ・他の無線システムに対する干渉抑制の技術的条件を含める。 ・送信方式は固体化方式のみとする。

表 3-1 周波数毎の沿岸監視用レーダー技術的条件の検討方針

3.1.1 周波数帯

以下の検討結果に基づき、既設の沿岸監視用レーダーが使用している 9,400MHz 帯、9,700MHz 帯に加え、複数帯域対応周波数として 9,800MHz 帯を使用することを想定し、沿岸監視用レーダー技術的条件（案）を検討することとした。

- 無線システムの X 帯の使用状況として、8,850-9,000MHz 帯（8.9GHz 帯）、9,300-9,500GHz 帯（9.4GHz 帯）及び 9,800-10,000MHz 帯（9.8GHz 帯）の各周波数帯域における国内の分配状況を調査した。その結果、9.4GHz 帯では、船舶航行用レーダー及び航空機用気象レーダーでの利用が増加傾向にあり、当該周波数帯を利用する陸上設置気象レーダーについても実験試験局の開設が増えており、今後、ゲリラ豪雨等の観測を目的として導入が進むと期待されている。また、9,200MHz から 9,800MHz までの周波数帯を航空機搭載型合成開口レーダーが使用している。総じて 9.4GHz 帯は各種レーダーで混みあっている状況である。
- 周波数共用化の観点から、まず各周波数帯域における影響度を比較するために、沿岸監視用レーダーと気象レーダー及び船舶航行用レーダーの干渉シミュレーションを行い、共用可能性について簡易的な条件で検討した。その結果、9.8GHz 帯の沿岸監視用レーダーを用いた場合に、被干渉局への影響が最も小さくなった。
- また複数帯域対応型レーダーとしての利用を想定し経済合理性の観点から部品共用化を検討した。輻射部、駆動部、送受信部の 3 点が複数周波数対応型レーダーを構成する装置とした場合、複数周波数への対応方法として、装置の部分交換、部品交換又は同じ装置での対応が可能かを検討した。輻射部については、8.9GHz 帯は設計仕様を未達となり輻射部の共用が難しく、9.3GHz 帯は設計仕様を満たすものの放射特性のばらつきについて懸念が見られた。9.8GHz 帯については設計仕様を満たすことが明らかとなり、共用可能であると考えられた。駆動部、固体化送受信機についても試作・評価を行い、設計仕様を満たすことを確認した。
- なお、9.4 GHz 帯については、船舶用レーダーと同等の技術的条件により既に沿岸監視用レーダー用に使用されている状況であり、今後も従前どおり、船舶用レーダーの技術的条件により使用されることが望ましい。

3.1.2 ＩＡＬＡレーダーモデルとの対応

沿岸監視用レーダーは、海外に輸出する際に求められる沿岸監視用レーダーの主要諸元として IALA Guideline のカテゴリ“Standard”（スタンダード）が引用される場合が多く、今後はより広範囲の探知が可能で解像度の高い製品への需要が高まる可能性が示唆されている。そこで、国内において高性能なレーダーが要求されている状況ではないものの、高性能レーダーに対するニーズ等が今後拡大することを考慮して IALA レーダーモデルとの整合性を確保することとした（表 3-2 参照）。

一方、高機能な沿岸監視用レーダーは他の無線システムへの影響が比較的強いことが想定されるため、3.1.1 項で述べたとおり、高機能な沿岸監視用レーダーの周波数帯は、9.8GHz 帯を利用することを前提として技術的条件の検討を行うこととした。

IALA 該当項目	IALA 要求性能	沿岸監視用レーダー該当項目	IALA Standard を満足する沿岸監視用レーダー性能	沿岸監視用レーダー性能案
方位分解能	0.6° 以下	水平ビーム幅 -3dB	0.6° 以下	0.5°
距離分解能	20m 以下	最小パルス幅 -3dB	0.09μs 以下	0.07μs
最小探知距離	0.02NM 以下 (約 37m)	最小パルス幅 -3dB	0.247μs 以下	0.16μs
最大探知距離	23NM 以上 (約 43km) (RCS1000 ㎡、ASL※ 100m において)	最大パルス幅 -3dB	18.3μs 以上	18.3μs
		空中線電力	200W 以上	200W
		空中線利得	35dBi 以上	35dBi

表 3-2 IALA Guideline の Standard 区分の距離分解能、方位分解能、探知性能を満足する固体化方式沿岸監視用レーダーの仕様

※ ASL： Above Sea Level （海抜高）

3.2 技術的条件の検討

3.2.1 一般的条件

3.2.1.1 適用範囲

この技術的条件は、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯の周波数を利用する沿岸監視用レーダーに対して適用する。

3.2.1.2 周波数帯

X 帯沿岸監視用レーダーの周波数帯は、周波数割当状況を踏まえて、以下とする。

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯： 9,700MHz から 9,800MHz

・固体化方式

9,740MHz 帯： 9,700MHz から 9,800MHz

9,800MHz 帯： 9,800MHz から 9,900MHz

3.2.2 中心周波数

気象レーダーとの干渉検討結果を踏まえ、周波数を以下のとおりとする。

また、固体化方式では、分解能信号帯域幅の最大 30MHz 幅から離調周波数幅を規定する。固体化方式の周波数は水晶発振子などを利用するため、偏差を狭めることができる。

【周波数】

(1) 9,740MHz 帯

マグネトロン方式のものについては 9,740MHz（従前どおり）、固体化方式のものについては 9,740MHz±15MHz とする。

(2) 9,800MHz 帯

固体化方式のものについて、9,850MHz±15MHz とする。

【周波数の許容偏差】

・マグネトロン方式：1,250ppm（従前どおり）

・固体化方式：300ppm

3.2.3 電波の型式

導入実績のあるレーダーと同じく PON(CW パルス)と QON(チャープパルス)とする。ただし、レーダー送受信処理の発展性を捉え PON と QON の複合パルス VON は残すこととする。

また、他の無線システムとの共用のため FMCW は選択しないこととした。

(1) 9,740MHz 帯

・ マグネトロン方式： PON

・ 固体化方式： PON/QON/VON

(2) 9,800MHz 帯

固体化方式： PON/QON/VON

3.2.4 搬送波の周波数

電波の型式が PON の搬送波の周波数は、電波の型式が QON の搬送波の周波数より低い周波数とすることを基本とする。ただし、隣接する周波数を使用する無線システムの状況によって PON が QON よりも高い周波数を利用することを許容する。

また、これらは同時に送信しないこと。

3.2.5 送信パルス幅

9,740MHz 帯については現用機器との整合をとることとした。9,800MHz 帯については、IALA Guideline の Standard 区分の距離分解能に適合するよう定めた。PON パルス幅は以下の通り計算して定めた。映像上で物標を弁別するために、3dB パルス幅での分解能「20m/150m」の式に対して更に 0.5 倍することで 20m 分解能を得られると考える。

● 分解能 20m ⇒ （20m/150m/μs） ÷ 2 ＝ 66ns ⇒ 70ns = 0.07μs

(1-1) 9,740MHz 帯　マグネトロン方式

・PON：0.1μs 以上（従前どおり）

(1-2) 9,740MHz 帯　固体化方式

・PON：0.16μs 以上

・QON：22μs 以下

(2) 9,800MHz 帯

・PON：0.07μs 以上

・QON：30μs 以下

3.2.6 空中線電力

9,740MHz 帯のマグネトロン方式のものは従前どおりとし、固体化方式のものも従前どおりに 9,400MHz 帯の船舶レーダーの技術基準を参照した。

9,800MHz 帯は、IALA Guideline の Standard 区分に沿える電力とし、電力計算は以下の通り。

・IALA GUIDELINE-1111 の Table13 にて探知性能の推奨値が示され、最大電力が必要な仕様は次の通り。

- 設置高 100m、物標のレーダー反射断面積：10 ㎡、探知距離：20 マイル

・検出 SN 比は、検出確率 0.7～0.9、誤警報確率は 10^{-4}～10^{-5} とされており最大値を用いると、検出確率：0.9、誤警報確率：10^{-5} として、SN 比は 14.77dB である。

・上記から受信機雑音レベルに対する必要な EIRP の比を求める。なお受信機 NF は 6dB と仮定する。

- 距離 20NM の往復損失:204.73dB - RCS:10dB + SN:14.77dB + NF:6dB
  ＝ EIRP 比:215.5dB

・方位分解能の推奨値は 0.6 度である。現用の 0.5 度以下（18ft 長）を参考としアンテナ利得は 35dBi と仮定する。

- 受信アンテナの有効面積 Ar ＝ AntG×λ²／（4π）より、
  Ar ＝ 35dBi-41.3dB ＝ -6.3dB（9,850MHz）

・距離分解能の推奨値は 20mである。必要とする帯域幅は以下の通り。

- 4 ÷ （20m / 150m/μs）＝ 30MHz、kTB ＝ -99dBm

・圧縮利得はパルス幅×掃引周波数幅で扱う。

・圧縮利得の処理関数が不定なことから、リニアチャープとして処理損失を 4dB と仮定する。

・以上から送信機出力電力をパルス幅 10μs/22μs/30μs で計算する。

- 送信電力=kTB + EIRP 比 - 受信アンテナ有効面積 - 圧縮利得 - 送信アンテナ利得により計算する。
- 10μs: 67.00dBm ≒ 5.00kW
- 22μs：63.57dBm ≒ 2.27kW

- 30μs: 62.22dBm ≒ 1.67kW

・上記では電力が 1kW を超える。固体化方式もあり積分処理利得を付加する。積分処理は、一つの物標に対しレーダー装置からの送信信号が照射される回数分（エコーとして反射する回数）行う。この照射回数はアンテナ回転数、繰り返し周波数、アンテナビーム幅から求められる。

照射回数 ＝ ビーム幅[度] ÷
{ 360[度]÷（繰り返し周波数[Hz]×60[秒]÷アンテナ回転数[rpm]）
＝ 0.5[deg]÷{360[deg]÷（3000[Hz]×60[s]÷24[rpm]） }
＝ 10.41[回]

上記のように、アンテナ回転数 24rpm、繰り返し周波数 3kHz、アンテナビーム幅 0.5 度とした場合、照射回数はおよそ 10 回となるが、レーダー装置に実装される処理方法により差が生じるため 8 回とする。また、積分処理では利用する窓関数による処理損失を 3dB と仮定して積分処理利得を計算する。

積分処理利得 ＝ 10×Log10(8[回]) － 3[dB]
＝ 9.03 [dB] － 3[dB] ≒ 6 [dB] となる。

- 10μs: 60.96dBm ≒ 1.25kW
- 22μs: 57.54dBm ≒ 0.57kW
- 30μs: 56.19dBm ≒ 416W

この電力は給電線を含めていないため、平均的な給電線長 20mから給電線損失を 2dB とする。

- 10μs: 62.96dBm ≒ 1.98kW
- 22μs: 59.54dBm ≒ 900W
- 30μs: 58.19dBm ≒ 660W

・ 仮定する項目が多いものの、IALA Guideline の Standard 区分に沿うには送信機出力は約 700W が必要である。
・ 給電線の損失もあるため、EIRP を併用して輻射電力は約 420W で規定を設ける。
・ パルス圧縮及び積分処理を併用した電力のため、パルス幅と繰り返し周波数も関係する。

また空中線電力は送信機の出力端で規定する（送受供用の場合はその出力端）。電力は給電線の損失を含めた EIRP の規定を併設する。電力の許容偏差は無線設備規則第 14 条 6(3)とするが、許容偏差を含めて 3.2.6 項に示す EIRP を超えないこと。

以上の検討結果により、空中線電力及び許容偏差は以下のとおりとする。

【空中線電力】

(1) 9,740MHz 帯

マグネトロン方式のものについては従前どおり 50kW 以下、固体化方式のものについては 700W 以下とする。

(2) 9,800MHz 帯

固体化方式のものについて、700W 以下とする。

【空中線電力の許容偏差】

9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯の双方について、±50%とする。

3.2.7 等価等方輻射電力（EIRP）

規定値は以下の計算により得られる。

・ 9,740MHz 帯マグネトロン方式
  - 送信電力 77dBm（50kW）＋アンテナ利得：35dBi = 112dBm ⇒ 82dBW
・ 9,740MHz 帯固体化方式
  - 9,400MHz の電波法関係審査基準を参考とし現運用局とも整合する 58dBW とする。
  - 送信電力 53dBm（200W）+アンテナ利得：35dBi ＝ 88dBm ⇒ 58dBW
・ 9,800MHz 帯
  - IALA Guideline の Standard 区分に沿う電力計算とする。また電力の許容偏差を、+20%を含めて規定する。
  - 送信電力 56.19dBm（416W）×1.2 倍 ≒ 57dBm
  - EIRP 規定値＝送信電力許容値 57dBm＋アンテナ利得 35dBi ＝ 92dBm
    ⇒ EIRP：62dBW 以下

(1) 9,740MHz 帯

・マグネトロン方式：82dBW 以下

・固体化方式：58dBW 以下

(2) 9,800MHz 帯

・固体化方式：62dBW 以下

3.2.8 送信繰り返し周波数

送信方式、電波の型式によらず定めることとした。マグネトロン方式では Duty0.1%の仕様もあり最大は 2.5kHz 程度で運用されている。一方、固体化方式では以下を考慮した。

・ IALA Guideline の Standard 区分の探知距離 23NM から最大周波数は 3.5kHz
・ 無線設備規則第 48 条第二項 16 で示される告示を参考とする。
・ 9,800MHz 帯の必要電力は積分処理を含め 3kHz を条件

上記から、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯共に上限を 3kHz とする。干渉対策とするスタガ送信及び繰り返し周波数操作の範囲を含める。他の無線システムとの時間干渉率への影響を考慮し規定する。

(1) 9,740MHz 帯 ： 3kHz 以下
(2) 9,800MHz 帯 ： 3kHz 以下

3.2.9　占有周波数帯幅

9,740MHz 帯マグネトロン方式は、PON 信号は現用から最小パルスを 0.1us とし 40MHz 幅とする。

9,740MHz 帯固体化方式は、PON 信号は現時点で無線局免許を取得している 9,740MHz 帯の固体化方式沿岸監視用レーダーの仕様から、最小パルスを 0.16us とし 25MHz 幅とする。QON 信号は現用のチャープ掃引周波数　22MHz　以下としてパルス変調の拡がりを±1MHz を付与し 24MHz 幅とする。また PON と QON は離調周波数 30MHz とすると 54.5MHz となり、マグネトロンと同様である。

9,800MHz 帯は、PON 信号は IALA Guideline の Standards 区分対応として 0.07us より 58MHz 幅とする。一方で QON 信号は 9,740MHz 帯を参照する。

(1-1) 9,740MHz 帯　マグネトロン方式
- PON：40MHz 以下（既設）

(1-2) 9,740MHz 帯　固体化方式
- PON：25MHz 以下
- QON：24MHz 以下

(2) 9,800MHz 帯
- PON：58MHz 以下
- QON：24MHz 以下

3.2.10 平均電力

EIRP と送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定するため、平均電力については規定しないこととした。

3.2.11 電力パルス幅積

EIRP と送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定するため、電力パルス幅積については規定しないこととした。

3.2.12 空中線

EIRP 及び空中線電力の規定値を満足すればよいことから、空中線利得は規定しないことが望ましい。

3.2.13 帯域外領域のスプリアス発射

以下に示す帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の考え方に従い、隣接する他の無線システムと共用するため、帯域外領域でのスプリアスレベルは図 3-1、図 3-2、図 3-3、図 3-4 及び図 3-5 のように占有周波数帯幅と帯域外領域の指定によって定める。まず ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 に従い B_{-40} 帯域と帯域外領域のマスクを規定する。B_{-40} 帯域内側は、ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 の必要周波数帯幅を参照し、-20dBc 以下とする。固体化方式においては、送信周波数±65MHz 以外の B_{-40} 帯域は-40dBc 以下とする。帯域外領域において、B_{-40} 帯域より外側の 30dB/decade で低減する領域は、その低減スロープを超えないこととする。以上を統合して帯域外領域でスペクトラムを規定する。

【帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の考え方】

- 隣接する他の無線システムと共用するため ITU-R に沿う中で、送信方式を問わず帯域外領域でより干渉抑圧を得るための規定を施す。
- B_{-40} 帯域内は ITU-R SM.1541Annex8 の必要周波数幅を参照し 20dBc とする。
- 帯域外領域を規定するマスクを利用する。
- 固体化方式においてはスペクトラム管理から送信周波数±65MHz 以外では他の無線システムとの共用のため 40dBc 以下にする。

(1)帯域外領域

・ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 に従う。

・B_{-40} 帯域幅と 30dB/decade 降下線で指定する。

(2)帯域外領域のスプリアス発射の強度

・占有周波数帯幅から ITU-R 勧告 SM.1541 で示される B_{-40} 帯域幅の間とする。

・平均電力から 20dBc 以下とする。

・固体化送信方式においては上記 20dBc に加え、送信周波数±65MHz 以外の周波数領域は 40dBc 以下もしくは B_{-40}dB 帯域のスロープ以下とする。

・B_{-40} 帯域幅からスプリアス領域との境界の間とする。

・平均電力から下記マスクを低減した信号強度以下とする。

・B_{-40} 帯域からスプリアス領域との境界まで、40dBc から開始する 30dBc/decade のスロープが示すマスクとする。

なお、これらの条件は平成 17 年 10 月 21 日総務省告示第 1232 号（無線設備規則別表第３号の 15 ただし書の規定に基づく無線測位業務を行う無線局の送信設備の参照帯域幅及び帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数）と同じである。

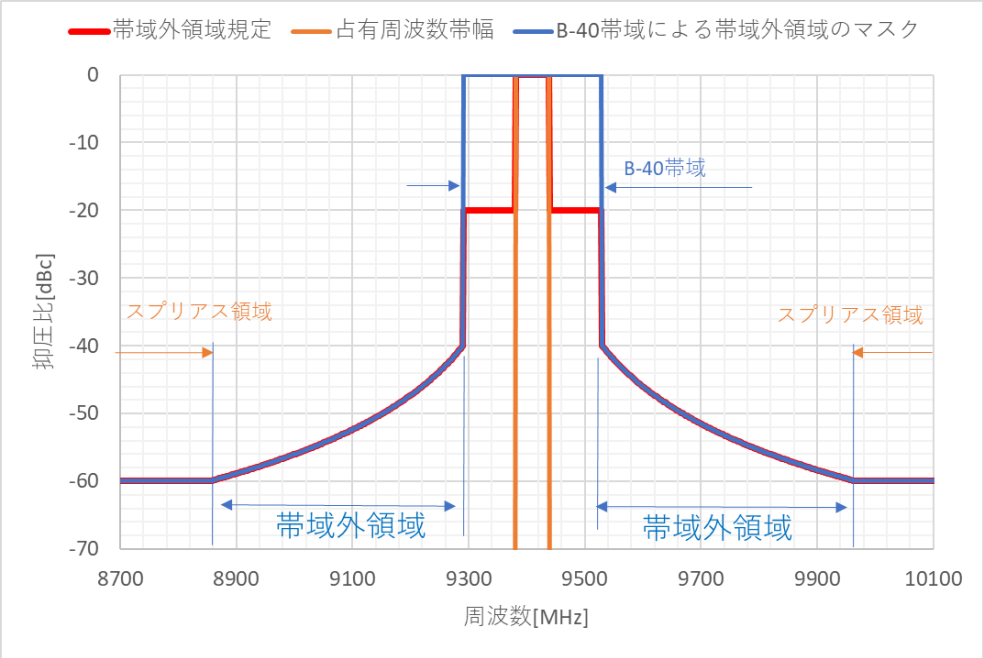


図 3-1　9,410MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 58MHz、B_{-40}帯域幅 240MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

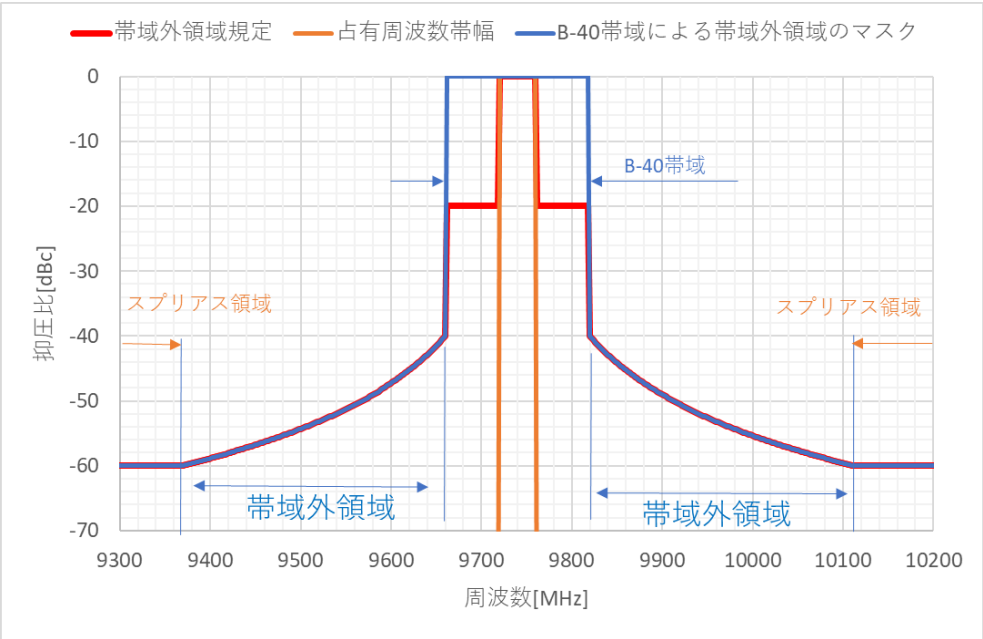


図 3-2　9,740MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 40MHz、B_{-40}帯域幅 160MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

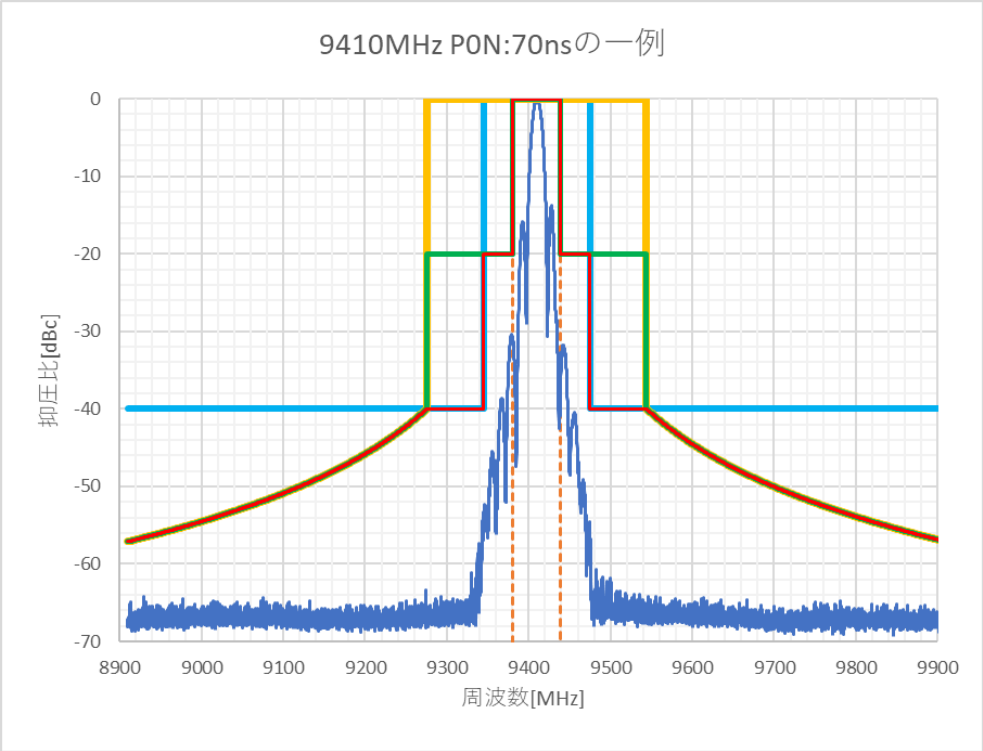


図 3-3　9,410MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

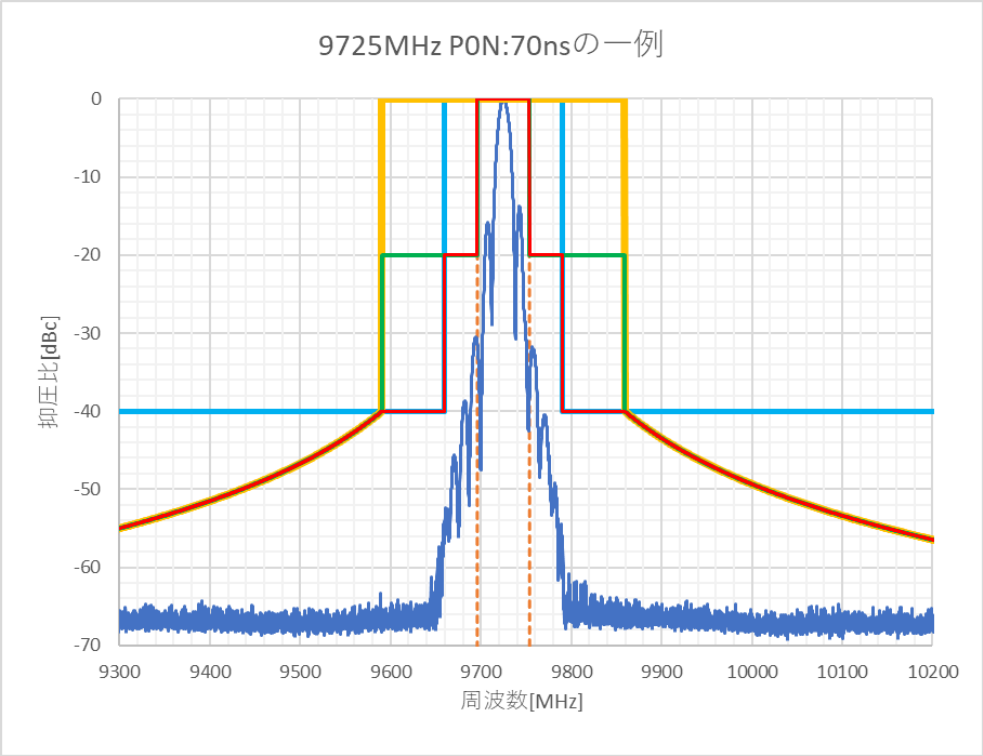


図 3-4　9,740MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9,725MHz で PON 信号を送信する場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

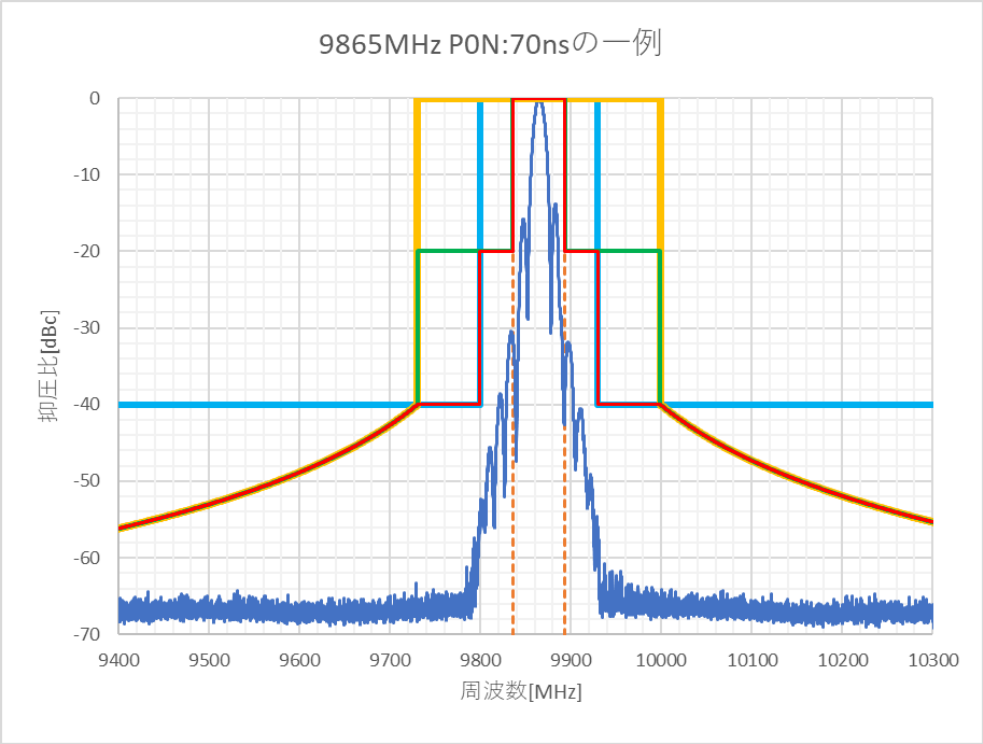


図 3-5　9,800MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※ 9,865MHz で PON 信号を送信した場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。
9,700MHz 帯陸上設置気象レーダーに 40dBc 以上の信号が入り込まないことを想定している。

3.2.14 スプリアス領域の不要発射

ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 を参照する。マグネトロン方式は現行 20dB/decade から ITU に沿う 30dB/decade に変更し、今後の沿岸監視レーダーは送信方式に寄らず 30dB/decade とする。ただし現用のマグネトロン方式のレーダーについては平成 17 年 10 月 21 日総務省告示第 1232 号（無線設備規則別表第３号の 15 ただし書の規定に基づく無線測位業務を行う無線局の送信設備の参照帯域幅及び帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数）の附則（令和元年 6 月 20 日総務省告示第 67 号）から旧規定(20dB/decade)が容認される。

(1) 帯域外領域とスプリアス領域の境界

・マグネトロン方式

B_{-40} 帯域から 30dB/decade 降下線が 60dBc に達する周波数とする。

・固体化方式

B_{-40} 帯域から 30dB/decade 降下線が 60dBc に達する周波数とする。

(2) スプリアス領域の不要発射の強度

不要発射の強度は、尖頭電力から 60dBc 以下とする。

3.2.15 他の無線システムとの共用検討

【陸上設置気象レーダーとの共用検討】

固体化方式では、気象レーダーへの干渉試験結果（参考資料　X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討調査報告書）から、以下のとおり共用条件の判断を行うこととした。

(1) 9,740MHz 帯

・ メインーメイン干渉の際に ADC 飽和の恐れがあるが、メインーメイン干渉の確率は非常に小さく、時間は非常に短い。

・ また、技術試験事務の検討結果により非飽和の干渉については気象レーダーにおいて現方式、新方式の干渉除去が機能することから、その影響は限定的であるが、干渉の可能性を完全に排除できない。

・ このため、干渉影響が懸念される場合は、運用者協議を実施する。

(2) 9,800MHz 帯

・送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していること。

・ メインーメイン干渉の際の ADC 飽和の恐れは低く、さらにメインーメイン干渉の確率は非常に小さく、時間は非常に短い。

・ また、技術試験事務の検討結果により非飽和の干渉については気象レーダーにおいて現方式の干渉除去が機能することから、その影響は限定的であるが、干渉の可能性を完全に排除できない。

・ このため、干渉影響が懸念される場合は、運用者協議を実施する。

なお、被干渉局の受信アンテナが受ける電力密度と干渉状況は密接な関係にあるので、見通しなどの抑圧も考慮した受信状況（離隔距離算定）から、運用協議により合意されること。

隣接する他の無線システムが用いる周波数において、送信スペクトラムの抑圧量が明らかであれば、EIRP をその抑圧量だけ低減し距離を計算する。

9,800MHz 帯は、9,800MHz 以下には占有周波数帯幅が存在しないことから、この周波数で 40dBc 抑圧していることを条件とする。

なお、より抑圧することが証明できれば抑圧量を増やして距離を計算する。

9,740MHz 帯マグネトロン方式は、PON 信号は現用から最小パルスを 0.1μs とし 40MHz 幅とする。

【CS 受信機との共用検討】

CS 受信機への干渉は、総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会　気象レーダー作業班 X 帯サブ・ワーキング・グループ（第 11 回）　気レ X11-4「CS との共用条件整理」より X 帯沿岸監視用レーダー入射からの方向の CS アンテナ利得として-15dB を想定し、干渉試験を実施した。

しかし CS 受信機から 30m 地点では干渉が確認できなかった。

そこで、電波無響室にて使用機材の X 帯沿岸監視用レーダー入射方向のアンテナ

利得は-29.4dB であることがわかり 30m 離隔位置では干渉が発生しないことが分かった。

また以上を確認するため干渉が想定されるレーダー装置の直近 2m の地点に CS 受信機を移動し干渉試験を行った結果、干渉が発生することが確認できた。

なおアンテナ利得は個体差があることから技術的条件の検討では-15dB を用いている。

以上の検討結果を踏まえ、9,740MHz 帯を利用するマグネトロン方式の沿岸監視用レーダーは、従来の条件（下記(1)）により CS 受信機との共用を行うこととする。

また、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯を利用する固体化方式の沿岸監視用レーダーは、以下の計算式をもとに影響する距離を把握し、設置地域の地形・遮蔽物・レーダー観測範囲などの情報も含めた総合的な判断を行うこととし、干渉閾値 pfdIr 及び離隔距離のみでの共用条件の判断は行わない。

(1) 沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

・平成 22 年度に公表した「9GHz 帯気象レーダーを運用される方へ」のガイドブックをベースとする。ただし、このガイドブックが改訂された場合は、改訂版をベースとする。

・沿岸監視レーダーの設置を求めるものは、CS 受信機に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し関係などを明らかにすること。

・CS 受信機への干渉影響が懸念される場合は、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

(2) 沿岸監視用レーダー（固体化方式）

・沿岸監視レーダーの設置を求めるものは、CS 受信機に対する干渉閾値レベル(pfdIr)を踏まえたうえで、設置場所における見通し関係などを明らかにすること。

・CS 受信機への干渉影響が懸念される場合は、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

干渉閾値レベルは下記式で求める。パラメータは表 3-3 に示す通り。降雨などの干渉対応も必要な事からマージンを含めた干渉閾値レベルに対して離隔距離を計算する。

レーダー干渉閾値 pfdIr ＝ CS 電力束密度 － Cave/Ipeak － 干渉マージン
＋ イメージ選択度 ＋ アンテナ選択度

晴天時 pfdIr ＝ -108dBW/㎡ － (-1.7dB) － 0dB ＋ 93.5dB ＋ 15dB
＝ +2.2dBW/㎡

マージンあり pfdIr ＝ -108dBW/㎡ － (-1.7dB) － 12.2dB ＋ 93.5dB ＋ 15dB
＝ -10.0dBW/㎡

沿岸監視レーダー設備の EIRP は下記式により離隔距離を計算する。

$$離隔距離[m] = [10^{\{(EIRP[dBm] - pfdIr-10dBW/m^2 +30dB)/10\}} / 4\pi)]^{1/2}$$

上記式により得られる EIRP と離隔距離の関係は図 3-6 に示す通り。ただしマージンとしては降雨時を想定している。

パラメータ	値
電力束密度	-108[dBW/m²]
Cave/Ipeak	-1.7[dB]
M（マージン　降雨等考慮）	12.2[dB]
S（イメージ抑圧比）	93.5[dBm]
D（アンテナ選択性）	15[dB]

表 3-3　CS 干渉閾値計算のためのパラメータ

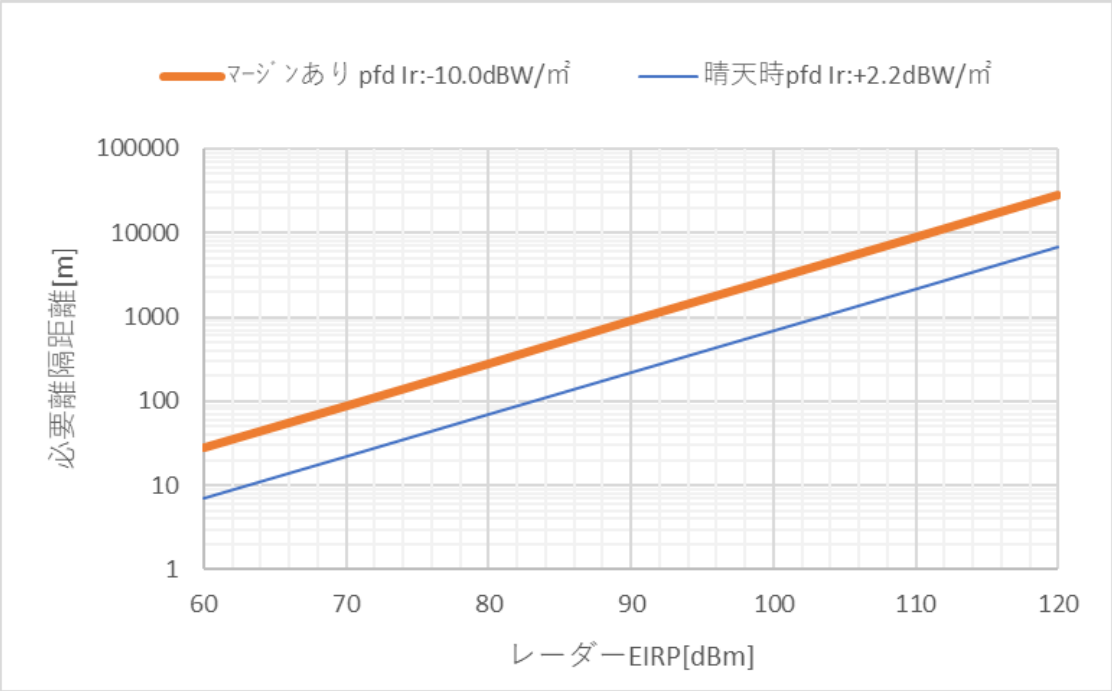


図 3-6　EIRP と離隔距離の関係

3.2.16 他の X 帯沿岸監視用レーダーとの共用

沿岸監視用レーダーの開設に際して、周辺に他の沿岸監視用レーダーが設置されていることが確認できた場合には、既設の沿岸監視用レーダーに干渉しないよう、運用者間協議において運用調整を行うことが適当である。

3.2.17 電波防護指針

沿岸監視用レーダーを設置する際には、当該無線設備から発射される電波の強度が電波法施行規則第21条の4に基づいて定める値（電波防護指針の値）を超える場所に取扱者のほか容易に立入りすることができないように施設をしなければならないとされていることから、以下のとおり検討を行った。

1.5GHz～300GHzの電波防護指針値は、電界強度（E）が61.4V/m以下であることから、以下のとおり指向性を考慮した基本算出式を用いて当該指針値を超えない値を算出する。

電力束密度 S ＝ （P・G・K） ／ （4π・R^2）} ・ （2$\tan^{-1}$(D/(2R)/2π）

＝ 0.884（mW/cm²）

電界強度 E ＝ √（3770・S） ＝ 57.729（V/m） ＜ 61.4（V/m）

大地反射係数 K ： 2.56（送信周波数が76MHz以上の場合）

空中線からの距離R ： 14（m）

【アンテナ諸元】（最悪条件を考慮）

アンテナ利得G ： 35（dBi） （IALA Guidelineより）

水平ビーム幅 ： 0.5（度）

アンテナ長 ： 5.32（m）

垂直面の減衰量 ： 0（dB）

【レーダー諸元】（最悪条件を考慮）

送信周波数： 9850（MHz）

送信電力 ： 500（W）※

パルス幅 ： 30（μs）

繰り返し周波数 ： 3000（Hz）

給電線損失： 0（dB）

※ 最大実効輻射電力EIRP ： 62（dBW） （本検討の最大値）

よって、上記の条件でX帯沿岸監視用レーダーを設置する場合には、電波防護指針を満足するためには、X帯沿岸監視用レーダーのアンテナ設置地点から14m以内に人が立入りすることができないように措置することが必要である。

なお、上記の条件とは乖離した条件でX帯沿岸監視用レーダーを設置する場合には、測定結果に基づく空間的平均値の算出を行い、電波防護指針の基準値を超える場所に取扱者のほか容易に立入りすることができないように措置することが必要である。

3.2.18 測定法等

船舶レーダーに対する無線機器型式検定規則に基づく試験方法を参考に、前項の技術的条件に即した試験方法を以下の通り検討した。

3.2.18.1　周波数と周波数の許容偏差

・スペクトラムアナライザを用いて実施する。
・スペクトラムアナライザの設定は下記による。
  - 周波数範囲：40dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと。
  - 周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
  - ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
  - 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上。
  - 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
  - 検波モード：ポジティブピーク
・パルス変調信号の測定のため下記により周波数を把握する。
  - PON 信号：最大ピークレベル
  - QON 信号：3dB 幅の中央周波数
・周波数の許容偏差は、指定される周波数と上記で測定した周波数の比とする。

3.2.18.2　空中線電力

・送受信装置の送信出力端にて観測する電力を、空中線電力とする。
・高周波平均電力計を用い、平均電力を観測し空中線電力を求める。
・平均電力から空中線電力（尖頭電力）を求めるので送信波形の測定を伴う。
・レーダー送信は、PON 信号、QON 信号など個別に送信する。なお VON 信号の場合は複合信号のまま送信する。
・送信波形の測定は検波器を用いて次の事項を測定して送信時間率を求める。
  - 送信繰り返し時間（詳細は別項による）
  - 送信パルス幅時間（詳細は別項による）
  - 送信時間率＝送信パルス幅[s]÷送信繰り返し時間[s]
・高周波平均電力計での測定
  - 使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること。
  - 測定値に対し送信時間率を除して、治具の損失で補正し空中線電力とする。
・ピークパワーメータでの測定
  - 使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること。
  - 尖頭電力を測定し、治具の損失で補正し空中線電力とする。

3.2.18.3　EIRP（等価等方輻射電力）の計算方法

・EIPR は、空中線電力と工事設計書で判断する。
・空中線電力は、空中線電力の測定法に従って測定する。

・工事設計書に記載される給電線の損失から下記式によりEIRPを求める。

- EIRP[dBW]＝空中線電力[dBm]+アンテナ利得[dBi]－給電線損失[dB]－30dB

3.2.18.4　送信繰り返し周波数と送信パルス幅

・検波器とオシロスコープを用いて実施する。

・検波器は下記とする。

- 周波数帯が合致していること。
- 変換特性が既知（校正）されていること。もしくは、測定の際に校正手段を講じること。

・測定場所は、送信機出力もしくは送受共用であればその出力端とする。

・送信機出力から検波器に必要な電力まで信号を減衰し、検波器出力をオシロスコープに接続して、表示される波形について以下を測定する

- 送信繰り返し周波数（逆数にすることで繰り返し時間）
- 送信パルス幅（振幅50%点とする）

3.2.18.5　占有周波数帯幅

・スペクトラムアナライザを用いて実施する。

・スペクトラムアナライザの設定は下記による。

- 周波数範囲：50dBc以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと。
- 周波数分解能：ITU-R勧告 M.1177 Annex 1に従う。
- ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
- 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上。
- 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
- 検波モード：ポジティブピーク

・測定方法は下記のいずれかで実施する。

送信電力の総和を基にし、下記①②の周波数から周波数帯幅を測定する

① 信号の下限観測値から累積した電力0.5%の周波数

② 信号の上限観測値から累積した電力0.5%の周波数

③ 上記の周波数の差を占有周波数帯幅とする

- スペクトラムアナライザの占有周波数帯幅測定機能で測定する

3.2.18.6　帯域外領域のスプリアス発射及びスプリアス領域の不要発射

・スペクトラムアナライザを用いて間接法で実施する。

・帯域外領域とスプリアス領域の境界は下記による。

- B_{-40}帯域の決定はITU-R勧告 SM.1541 Annex 8による。
- B_{-40}帯域からの降下率はITU-R勧告 SM.1541に従い30dB/decade降下線で指定する。

・周波数の測定範囲

- 帯域外領域：帯域外領域よりも広いこと。
- スペクトラム領域：ITU-R 勧告 SM.329 に従い 30MHz から 26GHz まで。

・スペクトラムアナライザの設定は下記による。

- 周波数掃引幅：帯域外領域の周波数幅よりも広いこと。
- 周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
- ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
- 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上。
- 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
- 検波モード：ポジティブピーク。

・測定方法

- PON 信号、QON 信号を各々測定する. VON 信号は VON 変調のまま実施する。
- 送信信号の強度に対する不要輻射の信号強度の比を測定する。

第４章　技術的条件

X 帯沿岸監視用レーダーに関する技術的条件について、次のとおり定めることが適当である。

4.1 一般的条件

4.1.1 適用範囲

この技術的条件は、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯の周波数を利用する沿岸監視用レーダーに対して適用する。

4.1.2 周波数帯

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯：　9,700MHz から 9,800MHz

・固体化方式

9,740MHz 帯：　9,700MHz から 9,800MHz

9,800MHz 帯：　9,800MHz から 9,900MHz

なお、固体化方式では、PON と QON を 30MHz 離調するため、基準周波数から PON/QON の中心周波数をそれぞれ 15MHz 離調する。(9,740MHz±15MHz、9,850MHz±15MHz)

4.2 送信装置の条件

4.2.1. 変調方式及び電波の型式

変調方式はパルス変調とすることが適当である。電波の型式は、マグネトロン方式では PON、固体化方式は PON、QON 又は VON とすることが適当である。

4.2.2. 搬送波の周波数

電波の型式が PON の搬送波の周波数は、電波の型式が QON の搬送波の周波数より低い周波数とすることを基本とする。ただし、隣接する周波数を使用する無線システムの状況によって PON が QON よりも高い周波数を利用することを許容する。

また、これらは同時に送信しないこと。

4.2.3. 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差は、マグネトロン方式では百万分率で 1,250、固体化方式では恒温槽付水晶発振器又は温度補償水晶発振器により高い周波数精度を確保できることから、百万分率で 300 とすることが適当である。

4.2.4. 占有周波数帯幅の許容値

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯については、従前どおり PON で 40MHz 以下とすることが適当である。

・固体化方式

9,740MHz 帯： PON は 25MHz 以下とすることが適当である。
QON は 24MHz 以下とすることが適当である。

9,800MHz 帯： PON は 58MHz 以下とすることが適当である。
QON は 24MHz 以下とすることが適当である。

4.2.5. 等価等方輻射電力（EIRP）

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯： 82dBW 以下とすることが適当である。

・固体化方式

9,740MHz 帯： 58dBW 以下とすることが適当である。

9,800MHz 帯： 62dBW 以下とすることが適当である。

4.2.6. 空中線電力

空中線電力は以下とすることが適当である。ただし、EIRP の値を超えないこと。

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯： 50kW 以下とすることが適当である。

・固体化方式

9,740MHz 帯： 700W 以下とすることが適当である。

9,800MHz 帯： 700W 以下とすることが適当である。

4.2.7. 空中線電力の許容偏差

9,740MHz 帯については、従前どおり上限 50%、下限 50%とすることが適当である。

9,800MHz 帯についても、上限 50%、下限 50%とすることが適当である。

4.2.8. 送信パルス幅

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯については、従前どおり 0.1μs 以上とすることが適当である。

・固体化方式

9,740MHz 帯：

PON： 0.16μs 以上とすることが適当である。

QON： 22μs 以下とすることが適当である。

9,800MHz 帯

PON： 0.07μs 以上とすることが適当である。

QON： 30μs 以下とすることが適当である。

4.2.9.送信繰り返し周波数

9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯ともに、3kHz 以下とすることが適当である。

4.2.10. 平均電力

EIRP、送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定することから、規定しないことが適当である。

4.2.11. 電力パルス幅積

EIRP、送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定することから、規定しないことが適当である。

4.3 スプリアス発射の強度

4.3.1.帯域外領域

帯域外領域については、従前どおりとすることが適当である。

4.3.2 帯域外領域のスプリアス発射の強度

- 占有周波数帯幅から ITU-R 勧告 SM.1541 で示される B_{-40} 帯域幅の間とする。
  - 平均電力から 20dBc 以下とする。
  - 固体化送信方式においては上記 20dBc に加え、送信周波数±65MHz 以外の周波数領域は 40dBc 以下もしくは B_{-40}dB 帯域のスロープ以下とする。
- B_{-40} 帯域幅からスプリアス領域との境界の間
  - 平均電力から下記マスクを低減した信号強度以下とする。
  - B_{-40} 帯域からスプリアス領域との境界まで、40dBc から開始する 30dBc/decade のスロープが示すマスクとする。

（無線設備規則別表第３号の 15 のとおり。）

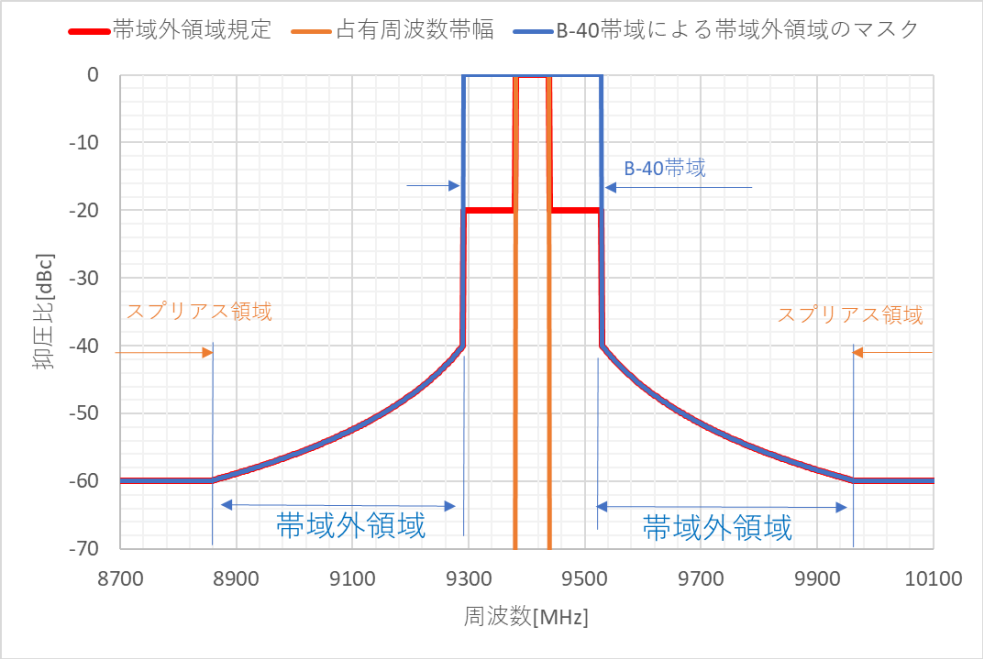


図 4-1　9,410MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 58MHz、B_{-40} 帯域幅 240MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

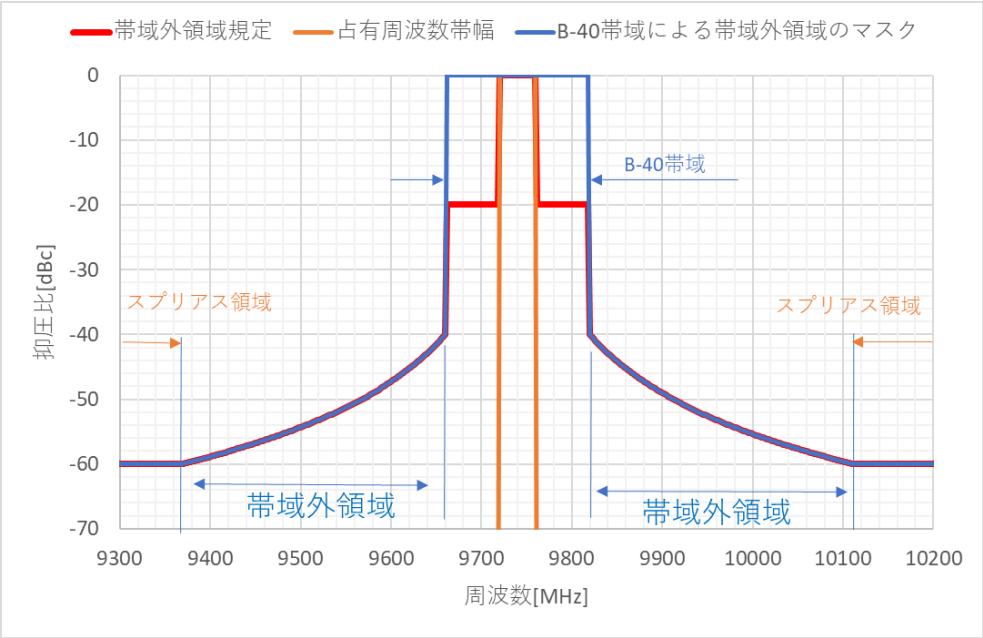


図 4-2　9,740MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 40MHz、B_{-40} 帯域幅 160MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

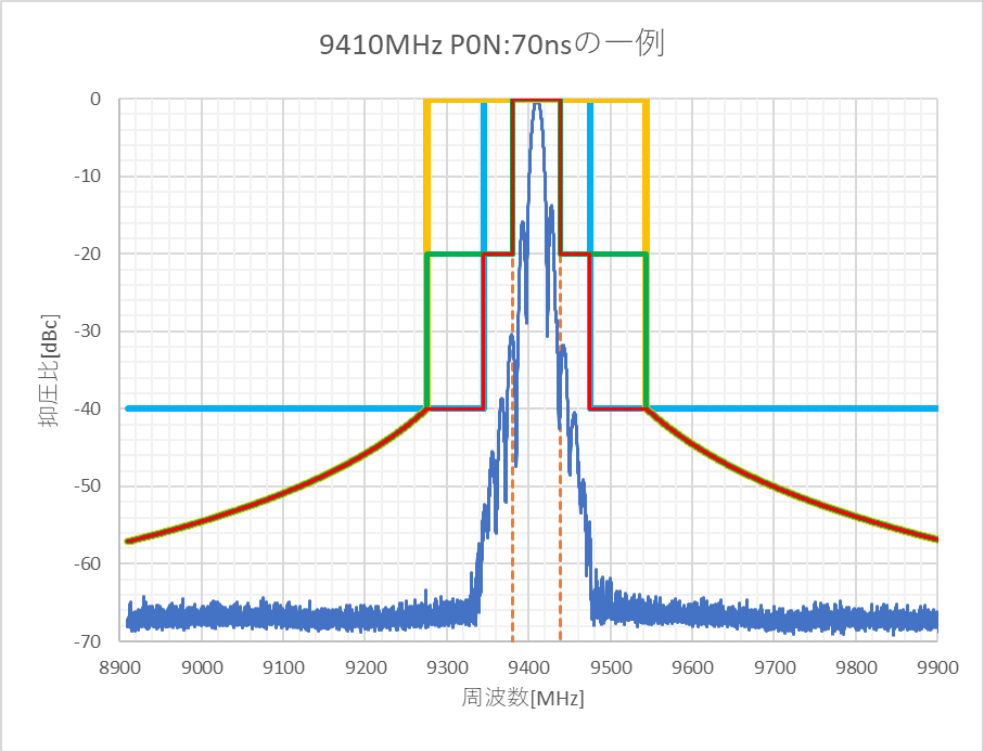


図 4-3　9,410MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

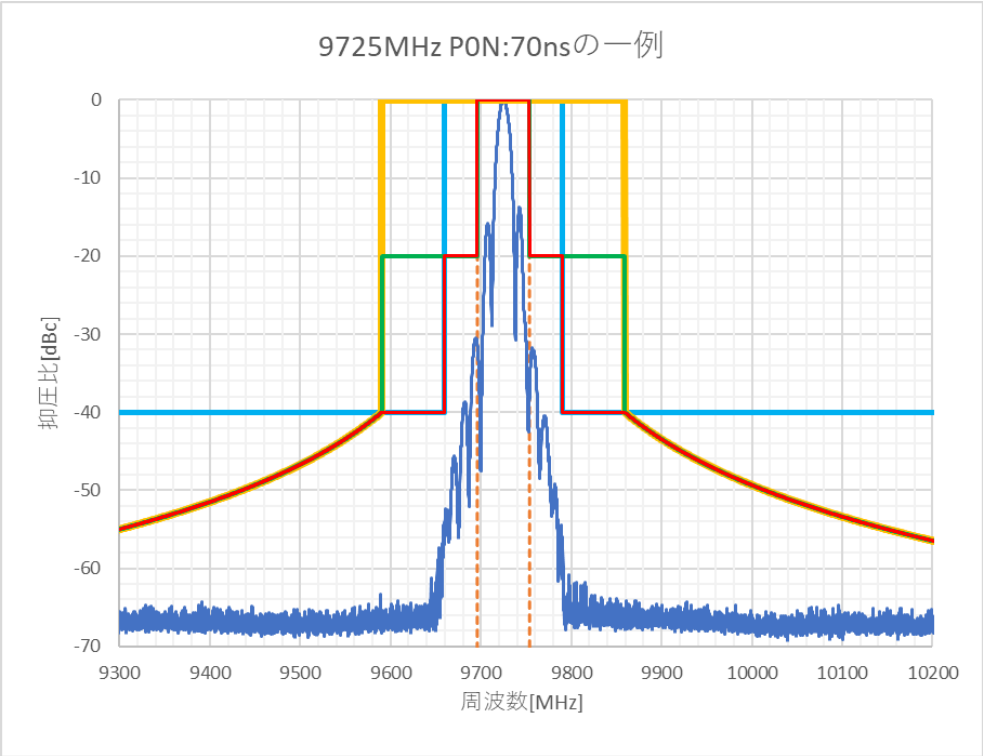


図 4-4　9,740MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9725MHz で PON 信号を送信する場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

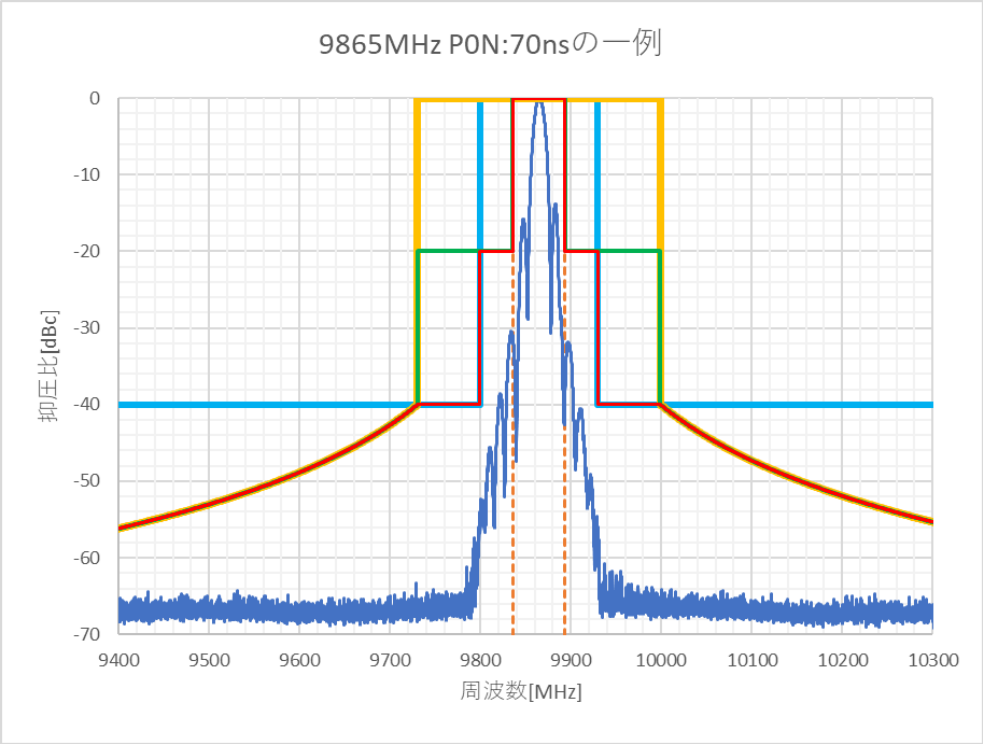


図 4-5　9,800MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9865MHz で PON 信号を送信した場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

4.4 スプリアス領域の不要発射

(1) 帯域外領域とスプリアス領域の境界

・マグネトロン方式

B_{-40} 帯域から 30dB/decade 降下線が 60dBc に達する周波数とする。

・固体化方式

B_{-40} 帯域から 30dB/decade 降下線が 60dBc に達する周波数とする。

(2) スプリアス領域の不要発射の強度

不要発射の強度は、尖頭電力から 60dBc 以下とする。

（無線設備規則別表第３号の 15 のとおり。）

4.5 空中線利得

空中線利得については規定しない。

4.6 受信装置

4.6.1 副次的に発する電波等の限度

現行無線設備規則第 24 条の規定のとおり、X 帯沿岸監視用レーダーについても、受信機から副次的に発する電波の限度は、4nW 以下とする。

4.7 干渉防止のための措置

4.7.1 陸上設置気象レーダーとの共用

(1) 沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

従前どおり、帯域外領域の不要発射の強度に許容値の現行基準を超えないこと。

(2) 沿岸監視用レーダー（固体化方式）

【9,740MHz 帯】

・メインーメイン干渉の際に ADC 飽和の恐れがあるが、メインーメイン干渉の確率は非常に小さく、時間は非常に短い。

・また、技術試験事務の検討結果により非飽和の干渉については気象レーダーにおいて現方式、新方式の干渉除去が機能することから、その影響は限定的であるが、干渉の可能性を完全に排除できない。

・このため、干渉影響が懸念される場合は、運用者協議を実施する。

【9,800MHz 帯】

・送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していること。

・メインーメイン干渉の際の ADC 飽和の恐れは低く、さらにメインーメイン干渉の確率は非常に小さく、時間は非常に短い。

・また、技術試験事務の検討結果により非飽和の干渉については気象レーダーにおいて現方式の干渉除去が機能することから、その影響は限定的であるが、干渉の可能性を完全に排除できない。

・このため、干渉影響が懸念される場合は、運用者協議を実施する。

なお、帯域内干渉のため送信スペクトラムの抑圧を考慮した離隔距離及び見通し環境などを元に、運用者協議において合意されること。

4.7.2 航空機用気象レーダー装置との共用

「X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討調査報告書」における干渉シミュレーションの結果、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯のいずれについても、実際に航空機に搭載されている代表的な航空機気象レーダーの受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態（シミュレーションでは-200dB の受信フィルタを想定）であれば、航空機搭載気象レーダー装置が干渉影響を考慮する必要はなく、共用は可能である。ただし、今後運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において合意されることが必要である。

4.7.3 航空機搭載型合成開口レーダーとの共用

今回、帯域の拡張を検討している沿岸監視レーダーのうち、9,700MHz から 9,800MHz までについては、9GHz 帯航空機搭載型合成開口レーダーと周波数が重複しているが、情報通信審議会からの一部答申（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（平成 30 年 2 月 13 日））に基づく従来の検討の通り共用が可能であり、9,800MHz か

ら 10GHz までについては、隣接周波数のため共用は可能である。ただし、今後運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において合意されることが必要である。

4.7.4 CS 受信機との共用

(1) 沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

従前どおり、以下のとおりとすることが適当である。

- 平成 22 年度に総務省より示された「９GHｚ帯気象レーダーを運用される方へ」のガイドブックをベースとする。ただし、このガイドブックが改訂された場合は、改訂版をベースとする。
- 沿岸監視用レーダーの設置を求めるものは、CS 受信機に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすることとする。
- また、CS 受信機への干渉影響が懸念される場合は、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

(2) 沿岸監視用レーダー（固体化方式）

- 沿岸監視レーダーの設置を求めるものは、CS 受信機に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し関係などを明らかにすること。
- CS 受信機への干渉影響が懸念される場合は、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

4.7.5 他の X 帯沿岸監視用レーダーとの共用

沿岸監視用レーダーの開設に際して、周辺に他の沿岸監視用レーダーが設置されていることが確認できた場合には、既設の沿岸監視用レーダーに干渉しないよう、運用者間協議において運用調整を行うことが適当である。

4.8 測定法

4.8.1 周波数と、周波数の許容偏差の測定

- スペクトラムアナライザを用いて実施する。
- スペクトラムアナライザの設定は下記による。
  - 周波数範囲：40dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと。
  - 周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
  - ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
  - 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上。
  - 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
  - 検波モード：ポジティブピークとする。

- パルス変調信号の測定のため下記により周波数を把握する。

- PON 信号：最大ピークレベル
- QON 信号：3dB 幅の中央周波数

・周波数の許容偏差は、指定される周波数と上記で測定した周波数の比とする。

4.8.2. 空中線電力

・ 送受信装置の送信出力端にて観測する電力を、空中線電力とする。
・ 高周波平均電力計を用い、平均電力を観測し空中線電力を求める。
・ 平均電力から空中線電力（尖頭電力）を求めるので送信波形の測定を伴う。
・ レーダー送信は、PON 信号、QON 信号など個別に送信する。なお VON 信号の場合は複合信号のまま送信する。
・ 送信波形の測定は検波器を用いて次の事項を測定して送信時間率を求める。
  - 送信繰り返し時間（詳細は別項による）
  - 送信パルス幅時間（詳細は別項による）
  - 送信時間率＝送信パルス幅[s]÷送信繰り返し時間[s]

・高周波平均電力計での測定は以下とする。
  - 使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること。
  - 測定値に対し送信時間率を除して、治具の損失で補正し空中線電力とする

・ピークパワーメータでの測定は以下とする。
  - 使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること。
  - 尖頭電力を測定し、治具の損失で補正し空中線電力とする。

4.8.3. EIRP の測定

・EIRP（等価等方輻射電力）は、空中線電力と工事設計書で判断する。
・空中線電力は、空中線電力の測定法にのっとり測定する。
・工事設計書に記載される給電線の損失から下記式により EIRP を求める。

EIRP[dBW]＝空中線電力[dBm]+アンテナ利得[dBi]ー給電線損失[dB]ー30dB

4.8.4. 送信繰り返し周波数と送信パルス幅の測定

・検波器とオシロスコープを用いて実施する。
・検波器は下記とする。
  - 周波数帯が合致していること
  - 変換特性が既知（校正）されていること。もしくは、測定の際に校正手段を講じること

・測定場所は、送信機出力もしくは送受共用であればその出力端とする。
・送信機出力から検波器に必要な電力まで信号を減衰し、検波器出力をオシロスコープに接続して、表示される波形について以下を測定する。
  - 送信繰り返し周波数（逆数にすることで繰り返し時間）
  - 送信パルス幅（振幅 50%点とする）

4.8.5. 占有周波数帯幅の測定

・スペクトラムアナライザを用いて実施する。

・スペクトラムアナライザの設定は下記による。

- 周波数範囲：50dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと。
- 周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
- ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
- 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上
- 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
- 検波モード：ポジティブピーク

・測定方法は下記のいずれかで実施する。

- 送信電力の総和を基にし、下記①②の周波数から周波数帯幅を測定する
  ①信号の下限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
  ②信号の上限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
  ③上記の周波数の差を占有周波数帯幅とする
- スペクトラムアナライザの占有周波数帯幅測定機能で測定する

4.8.6 帯域外領域のスプリアス発射及びスプリアス領域の不要発射の測定

・スペクトラムアナライザを用いて間接法で実施する。

・帯域外領域とスプリアス領域の境界は下記による。

- B_{-40} 帯域の決定は ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 による。
- B_{-40} 帯域からの降下率は ITU-R 勧告 SM.1541 に従い 30dB/decade とする。

・周波数の測定範囲は以下とする。

- 帯域外領域：帯域外領域よりも広いこと。
- スペクトラム領域：ITU-R 勧告 SM.329 に従い 30MHz から 26GHz まで。

・スペクトラムアナライザの設定は下記による。

- 周波数掃引幅：帯域外領域の周波数幅よりも広いこと。
- 周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
- ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
- 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上
- 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
- 検波モード：ポジティブピーク

・測定方法は以下とする。

- PON 信号、QON 信号を各々測定する. VON 信号は VON 変調のまま実施する。
- 送信信号の強度に対する不要輻射の信号強度の比を測定する。

Ⅴ　検討結果

航空・海上無線通信委員会は、電気通信技術審議会諮問第 50 号「海上無線通信設備の技術的条件」（平成２年４月 23 日諮問）のうち、「X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件」

について、別添のとおりとりまとめた。

別添　諮問第 50 号「海上無線通設備の技術的条件」のうち「X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件」（案）

海上無線通信設備の技術的条件のうち、X 帯沿岸監視用レーダーに関する技術的条件については、次のとおり定めることが適当である。

1.1 一般的条件

この技術的条件は、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯の周波数を利用する沿岸監視用レーダーに対して適用する。

1.2 周波数帯

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯：　9,700MHz から 9,800MHz

・固体化方式

9,740MHz 帯：　9,700MHz から 9,800MHz

9,800MHz 帯：　9,800MHz から 9,900MHz

※　固体化方式では、基準周波数（9,740MHz、9,850MHz）から PON/QON の中心周波数をそれぞれ 15MHz 離調する。(9,740MHz±15MHz、9,850MHz±15MHz)

1.3 送信装置の条件

1.3.1. 変調方式及び電波の型式

変調方式はパルス変調とすることが適当である。電波の型式は、マグネトロン方式では PON、固体化方式は PON、QON、VON とすることが適当である。

1.3.2. 搬送波の周波数

電波の型式が PON の搬送波の周波数は、電波の型式が QON の搬送波の周波数より低い周波数とすることを基本とする。ただし、隣接する無線システムの状況によって PON が QON よりも高い周波数を利用することを許容する。

また、これらは同時に送信しないこと。

1.3.3. 周波数の許容偏差

マグネトロン方式については、従前どおり百万分率で 1,250 とすることが適当である。

固体化方式については、百万分率で 300 とすることが適当である。

1.3.4. 占有周波数帯幅の許容値

占有周波数帯幅の許容値は、以下とすることが適当である。

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯：　PON は 40MHz 以下

・固体化方式

9,740MHz 帯：　PON は 25MHz 以下

QON は 24MHz 以下

9,800MHz 帯：　PON は 58MHz 以下

QON は 24MHz 以下

1.3.5. 等価等方輻射電力（EIRP）

EIRP は以下とすることが適当である。

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯：　82dBW 以下

・固体化方式

9,740MHz 帯：　58dBW 以下

9,800MHz 帯：　62dBW 以下

1.3.6. 空中線電力

空中線電力は以下とすることが適当である。ただし、EIRP の値を超えないこと。

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯：　50kW 以下

・固体化方式

9,740MHz 帯：　700W 以下

9,800MHz 帯：　700W 以下

1.3.7. 空中線電力の許容偏差

空中線電力の許容偏差は、上限 50%、下限 50%とすることが適当である。

1.3.8. 送信パルス幅

送信パルス幅は以下のとおりとすることが適当である。

・マグネトロン方式

9,740MHz 帯：　0.1μs 以上

・固体化方式

9,740MHz 帯：

PON：　0.16μs 以上

QON：　22μs 以下

9,800MHz 帯

PON：　0.07μs 以上

QON：　30μs 以下

1.3.9. 送信繰り返し周波数

送信繰り返し周波数は 3kHz 以下とすることが適当である。

1.4 スプリアス発射の強度

1.4.1. 帯域外領域

無線測位業務を行う無線局の送信設備の帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数は、ITU-R 勧告 SM.1541-5 Annex 8 の条件に適合することとする。

帯域外領域のスプリアス発射の強度の許容値は、図 4-1 から図 4-5 に示すように占有周波数帯と帯域外領域の指定によって定める。

具体的には ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 に従い B_{-40} 帯域と帯域外領域のマスクを規定する。B_{-40} 帯域内側は、ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 の必要周波数帯幅を参照し、-20dBc 以下とする。固体化方式においては、送信周波数±65MHz 以外の B_{-40} 帯域は-40dBc 以下とする。帯域外領域において、B_{-40} 帯域より外側の 30dB/decade で低減する領域は、その低減スロープを超えないこととする。

（平成 17 年 10 月 21 日総務省告示第 1232 号（無線設備規則別表第３号の 15 ただし書の規定に基づく無線測位業務を行う無線局の送信設備の参照帯域幅及び帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数）のとおり。）

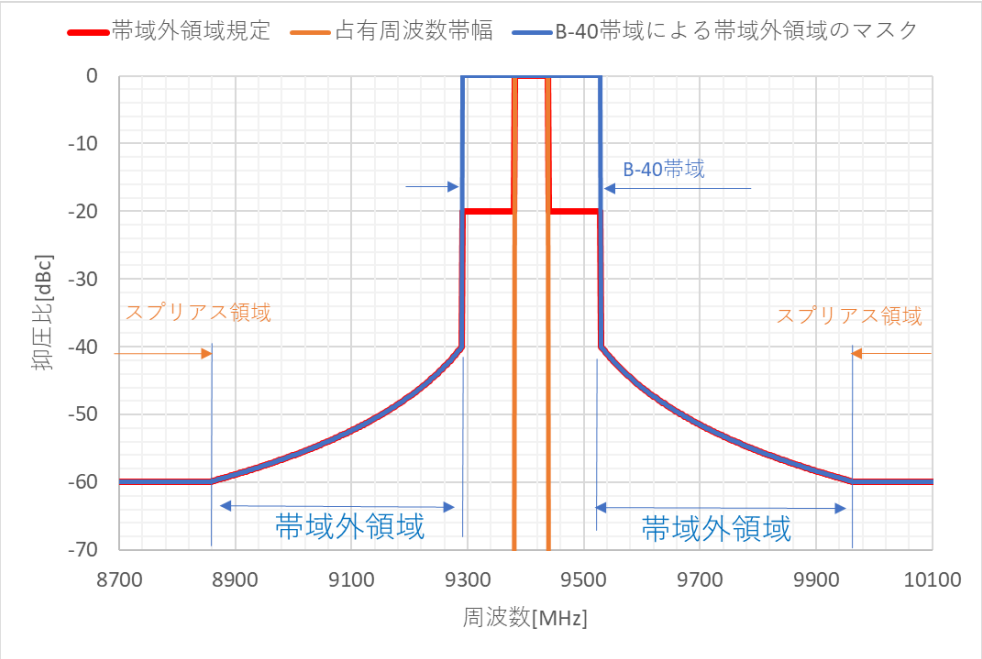


図 4-1　9,410MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 58MHz、B_{-40} 帯域幅 240MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

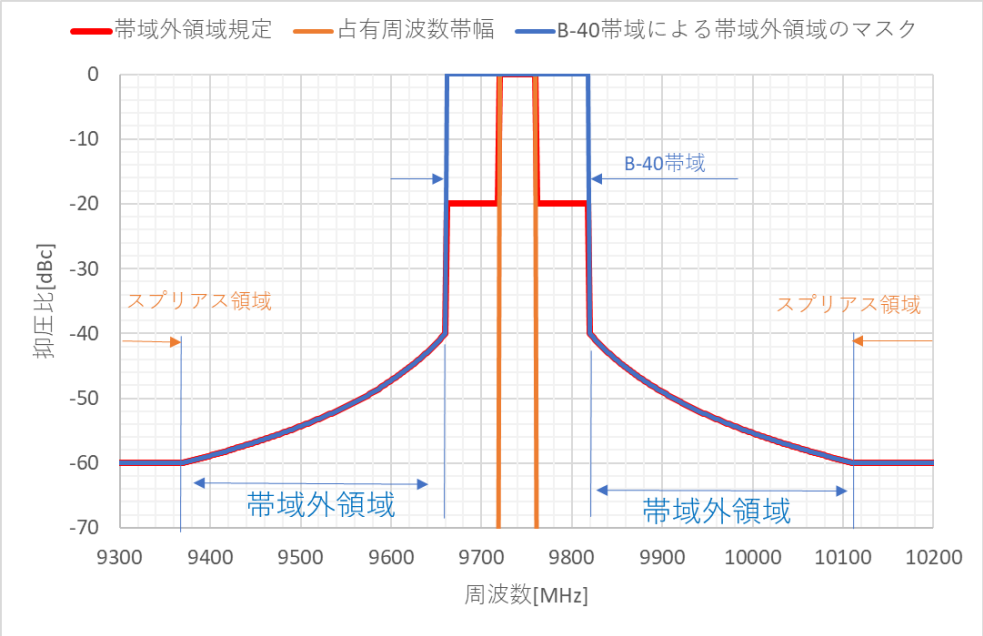


図 4-2　9,740MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 40MHz、B_{-40} 帯域幅 160MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

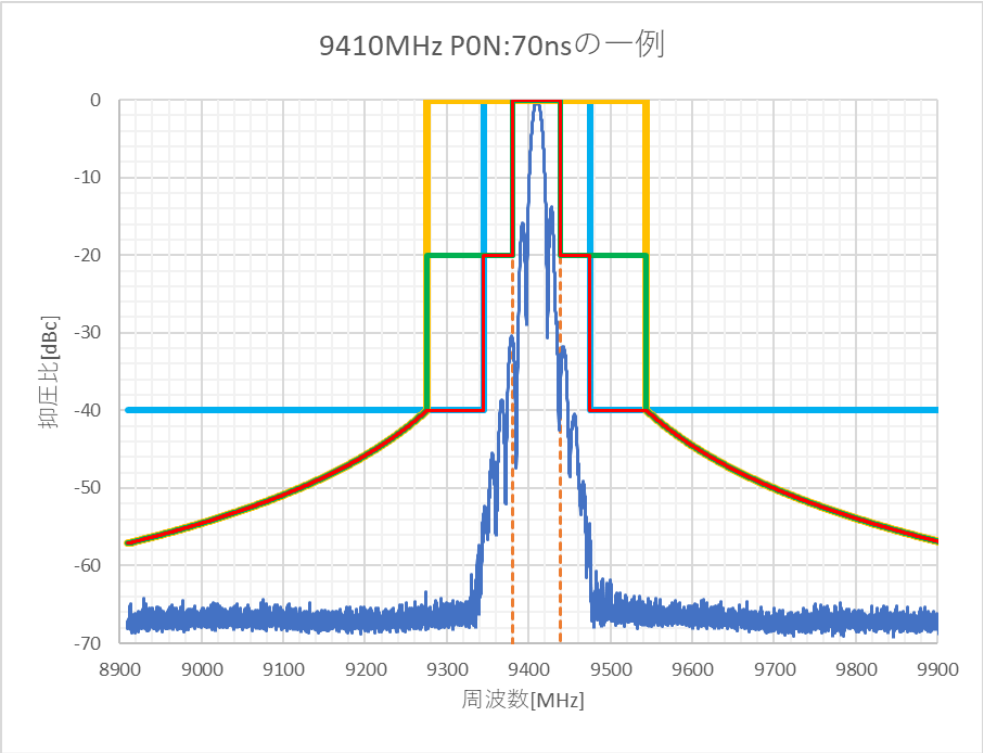


図 4-3　9,410MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

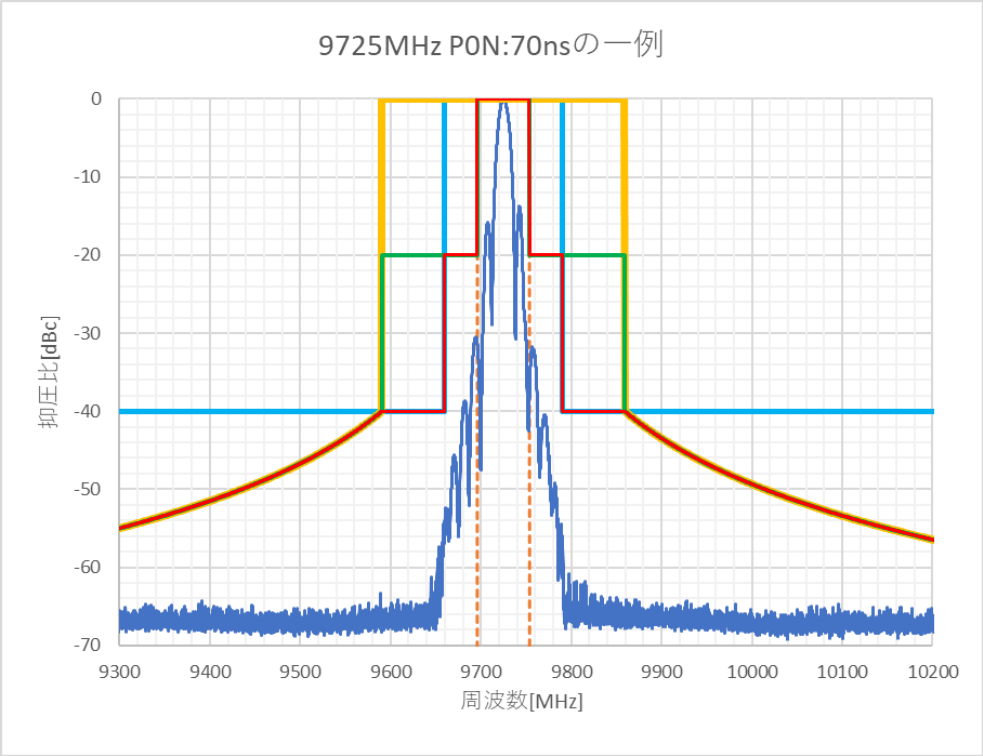


図 4-4　9,740MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9725MHz で PON 信号を送信する場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

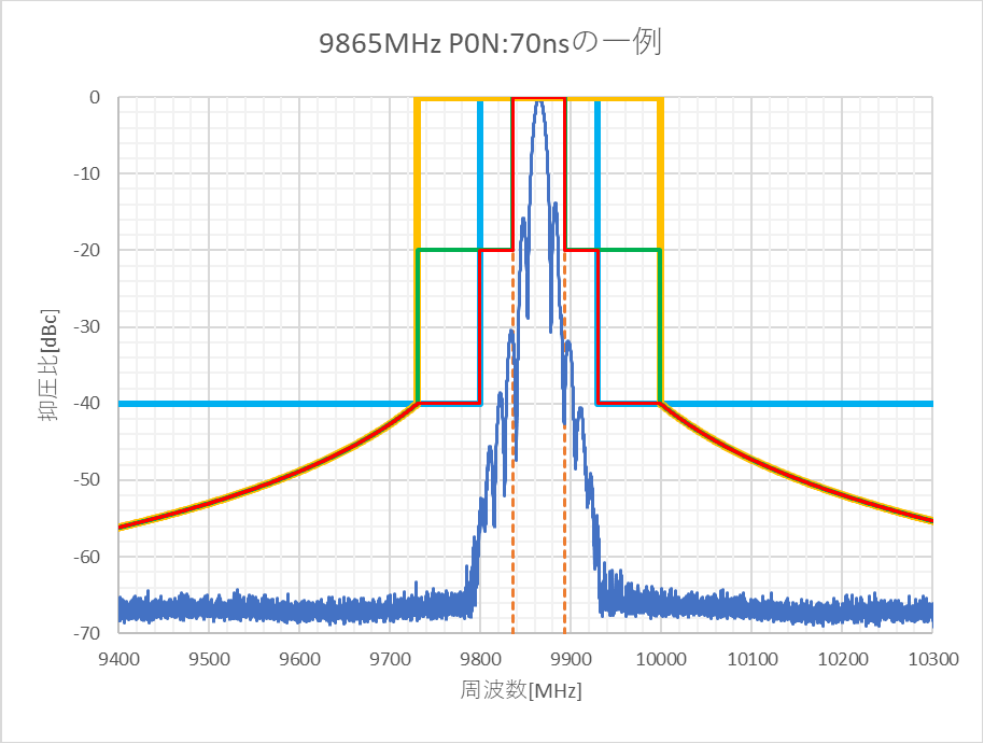


図 4-5　9,800MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9865MHz で PON 信号を送信した場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

1.4.2 スプリアス領域の不要発射

基本周波数の尖頭電力より、60dB 低い値とすることが適当である。なお、参照周波数帯幅及び帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数は、ITU-R 勧告 SM.1541-5 Annex 8 の条件に適合することが適当である。

無線設備規則別表第３号の 15 に適合することが適当である。

1.5 受信装置

1.5.1 副次的に発する電波等の限度

現行無線設備規則第 24 条の規定のとおり、X 帯沿岸監視用レーダーについても、受信機から副次的に発する電波の限度は、4nW 以下とする。

1.6 干渉防止のための措置

1.6.1 陸上設置気象レーダーとの共用条件

(1) 沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

現行と同様、帯域外領域の不要輻射不要発射の強度に許容値の現行基準を超えないこと。

(2) 沿岸監視用レーダー（固体化方式）

・9,740MHz 帯：現行と同様、帯域外領域の不要輻射に従うこと。

・9,800MHz 帯：送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していること。

さらに、帯域内干渉のため送信スペクトラムの抑圧を考慮した離隔距離及び見通し環境などを元に、運用者協議において合意されること。

1.6.2 航空機用気象レーダー装置との共用条件

9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯のいずれについても航空機搭載気象レーダー装置との共用は可能である。ただし、今後運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において合意されること。

1.6.3 航空機搭載型合成開口レーダーとの共用条件

今回、帯域の拡張を検討している沿岸監視レーダーのうち、9,700MHz から 9,800MHz までについては、従来通り共用が可能であり、9,800MHz から 10GHz までについても、隣接周波数のため共用可能である。ただし、今後運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において合意されること。

1.6.4 CS 受信機との共用条件

(1) 沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

・ 平成 22 年度に総務省より示された「9GHｚ帯気象レーダーを運用される方へ」の

ガイドブックをベースとする。ただし、このガイドブックが改訂された場合は、改訂版をベースとする。

- 沿岸監視用レーダーの設置を求めるものは、CS 受信機に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすること、とする。
- また、CS 受信機への干渉影響が懸念される場合は、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

(2) 沿岸監視用レーダー（固体化方式）

- 沿岸監視用レーダーの設置を求めるものは、CS 受信機に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすること。
- また、CS 受信機への干渉影響が懸念される場合は、CS 放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

1.6.5 他の X 帯沿岸監視用レーダーとの共用

沿岸監視用レーダーの開設に際して、周辺に他の沿岸監視用レーダーが設置されていることが確認できた場合には、既設の沿岸監視用レーダーに干渉しないよう、運用者間協議において運用調整を行うことが適当である。

2 測定法

2.1 周波数と、周波数の許容偏差の測定

スペクトラムアナライザを用いて実施する。

スペクトラムアナライザの設定は下記による。

- 周波数範囲：40dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと。
- 周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
- ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
- 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上。
- 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
- 検波モード：ポジティブピーク

パルス変調信号の測定のため下記により周波数を把握する。

- PON 信号：最大ピークレベル
- QON 信号：3dB 幅の中央周波数
- 周波数の許容偏差は、指定される周波数と上記で測定した周波数の比とする。

2.2. 空中線電力

送受信装置の送信出力端にて観測する電力を、空中線電力とする。

高周波平均電力計を用い、平均電力を観測し空中線電力を求める。

平均電力から空中線電力（尖頭電力）を求めるので送信波形の測定を伴う。

レーダー送信は、PON 信号、QON 信号など個別に送信する。なお VON 信号の場合は複合信号のまま送信する。

送信波形の測定は検波器を用いて次の事項を測定して送信時間率を求める。

・送信繰り返し時間（詳細は別項による）

・送信パルス幅時間（詳細は別項による）

送信時間率＝送信パルス幅[s]÷送信繰り返し時間[s]

・高周波平均電力計での測定は以下とする。

・使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること。

・測定値に対し送信時間率を除して、治具の損失で補正し空中線電力とする

ピークパワーメータでの測定は以下とする。

・使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること。

・尖頭電力を測定し、治具の損失で補正し空中線電力とする。

2.3. EIRP の測定

EIRP（等価等方輻射電力）は、空中線電力と工事設計書で判断する。

・空中線電力は、空中線電力の測定法にのっとり測定する。

工事設計書に記載される給電線の損失から下記式により EIRP を求める。

EIRP[dBW]＝空中線電力[dBm]+アンテナ利得[dBi]ー給電線損失[dB]ー30dB

2.4. 送信繰り返し周波数と送信パルス幅の測定

検波器とオシロスコープを用いて実施する。

検波器は下記とする。

・周波数帯が合致していること

変換特性が既知（校正）されていること。もしくは、測定の際に校正手段を講じること

・測定場所は、送信機出力もしくは送受共用であればその出力端とする。

・送信機出力から検波器に必要な電力まで信号を減衰し、検波器出力をオシロスコープに接続して、表示される波形について以下を測定する。

・送信繰り返し周波数（逆数にすることで繰り返し時間）

送信パルス幅（振幅 50%点とする）

2.5. 占有周波数帯幅の測定

スペクトラムアナライザを用いて実施する。

スペクトラムアナライザの設定は下記による。

・周波数範囲：50dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと。

・周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。

・ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。

・周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上
・周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
・検波モード：ポジティブピーク
・測定方法は下記のいずれかで実施する。
送信電力の総和を基にし、下記①②の周波数から周波数帯幅を測定する
①信号の下限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
②信号の上限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
③上記の周波数の差を占有周波数帯幅とする
スペクトラムアナライザの占有周波数帯幅測定機能で測定する

2.6 帯域外領域のスプリアス発射及びスプリアス領域の不要発射の測定

スペクトラムアナライザを用いて間接法で実施する。
帯域外領域とスプリアス領域の境界は下記による。
・B_{-40} 帯域の決定は ITU-R 勧告 SM.1541 Annex 8 による。
・B_{-40} 帯域からの降下率は IRU-R 勧告 SM.1541 に従い 30dB/decade とする。
・周波数の測定範囲は以下とする。
帯域外領域：帯域外領域よりも広いこと。
スペクトラム領域：ITU-R 勧告 SM.329 に従い 30MHz から 26GHz まで。
・スペクトラムアナライザの設定は下記による。
周波数掃引幅：帯域外領域の周波数幅よりも広いこと。
周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex 1 に従う。
ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする。
周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の２倍以上
周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと。
検波モード：ポジティブピーク
・測定方法は以下とする。
PON 信号、QON 信号を各々測定する. VON 信号は VON 変調のまま実施する。
送信信号の強度に対する不要輻射の信号強度の比を測定する。

別紙１

情報通信審議会　情報通信技術分科会　航空・海上無線通信委員会　専門委員

令和６年８月 23 日現在（敬称略）

氏　　名		主　要　現　職
主査 専門委員	小瀬木　滋	一般財団法人航空保安無線システム協会　技術顧問
委員	森川　博之	東京大学　大学院　工学系研究科　教授
専門委員	青木　三月	ＡＮＡシステムズ株式会社　ＩＴインフラシステム部　マネージャー
〃	荒川　直秀	海上保安庁　総務部　情報通信課長
〃	石井　義則	一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会　常務理事
〃	井手　麻奈美	ＭＯＬマリン&エンジニアリング株式会社　海洋技術事業部　主任研究員
〃	伊藤　功	日本郵船株式会社　海務グループ　調査役
〃	今村　純	国土交通省　航空局　交通管制部　管制技術課長
〃	大槻　秀夫	日本無線株式会社　マリンシステム事業部　マリンシステム技術部担当部長
〃	児玉　俊介	一般社団法人電波産業会　専務理事
〃	齋藤　絵里	東芝インフラシステムズ株式会社 電波システム事業部 小向工場 センサシステム技術部 エキスパート
〃	竹之下　早苗	スカパーJSAT 株式会社　宇宙事業部門　専任部長
〃	豊嶋　守生	国立研究開発法人情報通信研究機構　ネットワーク研究所ワイヤレスネットワーク研究センター　研究センター長
〃	生田目　瑛子	欧州ビジネス協会　電気通信機器委員会委員
〃	南風立　千枝子	一般社団法人全国漁業無線協会　参与
〃	福島　雅哉	日本航空株式会社　システムマネジメント部部長
〃	福田　厳	東京海洋大学　学術研究院海事システム工学部門　海洋工学部　海事システム工学科　准教授
〃	藤井　威生	電気通信大学　先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター教授

別紙２

情報通信審議会　情報通信技術分科会　航空・海上無線通信委員会　Ｘ帯沿岸監視用レーダー作業班　構成員

令和６年８月 23 日現在（敬称略）

氏名	所属
【主　　任】 福田　厳	東京海洋大学　学術研究院海事システム工学部門　海洋工学部海事システム工学科　准教授
【主任代理】 田北　順二	一般社団法人　全国船舶無線協会　水洋会部会　事務局長
石河　大	株式会社ウェザーニューズ　交通気象事業部　部長
柿元　生也	三菱電機株式会社　電子通信システム製作所　インフラ情報システム部　モビリティインフラシステム課　専任
國吉　裕夫	国土交通省　大臣官房　技術調査課　電気通信室　課長補佐
佐々木　正博	海上保安庁　交通部　整備課　主任技術官　（第二機器担当）
清水　昭典	古野電気株式会社　舶用機器事業部 開発設計統括部開発部応用システム開発課　課長
田島　慶一	スカパーＪＳＡＴ株式会社　サービス技術部　上席専任主幹
中村　元	防衛省　整備計画局　サイバー整備課　防衛部員
長山　博幸	株式会社三菱総合研究所　モビリティ・通信事業本部次世代テクノロジーグループ
橋田　芳男	東芝インフラシステムズ株式会社　小向事業所　フェロー
花土　弘	国立研究開発法人　情報通信研究機構　電磁波研究所電磁波標準研究センター　リモートセンシング研究室研究マネージャー
本多　康伸	一般社団法人　日本航路標識協会　教育訓練部長
森下　昌典	日本無線株式会社　ソリューション事業部　港湾航空ソリューション技術部　港湾システムグループ

参考資料

X帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討調査報告書

X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討の請負

調査報告書

三菱総合研究所

フロンティア・テクノロジー本部

2023 年 3 月 31 日

目次

1. 調査検討の概要 1

1.1 背景と目的 1
1.2 実施概要 1
1.2.1 沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査検討 1
1.2.2 X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討 2
1.2.3 取りまとめ、評価等 5
1.3 調査検討会の実施 6

2. 沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査検討 7

2.1 新技術（フェーズドアレイ等）の可能性検討 7
2.1.1 沿岸監視用レーダーに対するニーズ 7
2.1.2 新技術の可能性 8
2.2 波高測定用レーダーや鳥探知用レーダーへの適用可能性検討 12
2.2.1 波高測定用レーダー 12
2.2.2 鳥探知用レーダー 14
2.3 技術動向のまとめ 15

3. X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討 17

3.1 総合実証試験計画の策定 17
3.2 総合実証試験事前検討 19
3.2.1 試作アンテナ及び送受信機の評価 19
3.2.2 干渉シミュレーション 26
3.3 総合実証試験準備 72
3.3.1 免許取得 72
3.3.2 装置の設置工事 73
3.4 総合実証本試験 74
3.4.1 CS 受信機との干渉試験 74
3.4.2 気象レーダー装置との干渉試験 87
3.5 総合実証本試験結果分析 123
3.5.1 CS受信機への干渉試験結果の分析 123
3.5.2 気象レーダー装置への干渉試験結果の分析 124
3.6 同一周波数帯の他の無線システムとの共用条件 125
3.6.1 陸上設置気象レーダー装置との共用 125
3.6.2 航空機搭載気象レーダー装置 125

3.6.3　CS衛星放送 125

4.　取りまとめ、評価等 127

4.1　3 年間の実施結果の取りまとめ 127
4.2　総合評価 128
4.3　技術的条件（案）の策定 129
4.3.1　技術的条件（案）の策定方針 129
4.3.2　技術的条件（案） 131

5.　調査検討会の開催状況 146

6.　まとめ 147

付録 1　開催要綱 149

付録 2　沿岸監視用レーダーの技術的条件（案） 152

参考文献 160

添付資料 161

図 目次

図 2-1 電子的な走査方法のイメージ 8
図 2-2 フェーズドアレイアンテナの機能と実現される放射特性 9
図 2-3 マルチパラメータ気象レーダーとフェーズドアレイ気象レーダーの特長比較 9
図 3-1 連続運転試験の様子 21
図 3-2 防水試験の様子 21
図 3-3 VSWR 測定の様子 22
図 3-4 VSWR 測定結果 22
図 3-5 送受信機のブロック図 23
図 3-6 測定の様子 24
図 3-7 9,850MHz 帯(P0N)のスプリアス測定結果 25
図 3-8 9,850MHz 帯(Q0N)のスプリアス測定結果 25
図 3-9 与干渉局のアンテナ回転方位の定義 28
図 3-10 被干渉局のアンテナ回転方位の定義 28
図 3-11 代表的な窓関数の周波数特性 29
図 3-12 パルス圧縮 原理図 30
図 3-13 表示上の干渉パターン発生原理(Bスコープイメージ) 31
図 3-14 受信帯域フィルタなし例 32
図 3-15 受信帯域フィルタ[-60dB／-80dB]例① 33
図 3-16 受信帯域フィルタ[-60dB／-80dB]例② 33
図 3-17 受信帯域フィルタ[-150dB]例 34
図 3-18 波形作成のイメージ 34
図 3-19 送信波フィルタ例 35
図 3-20 フィルタ通過後の送信波スプリアス特性 35
図 3-21 送受が同一無線周波数における送受信特性の例 36
図 3-22 包絡線検波及びデシメーションの例 37
図 3-23 送受が異なる無線周波数における送受信特性 37
図 3-24 包絡線検波及びデシメーション 38
図 3-25 パルスデータ生成イメージ 38
図 3-26 送受の無線周波数帯域イメージ 39
図 3-27 電波干渉の系統イメージ 40
図 3-28 フィルタ例 40
図 3-29 屋外実証における事前シミュレーション 71
図 3-30 シミュレーション及び屋外実証試験結果との比較 71
図 3-31 試作アンテナ設置後の様子 73
図 3-32 CS衛星放送受信設備の簡易構成 75
図 3-33 CS受信機内でのレーダー信号の周波数変換 76

図 3-34 館山実験試験局 79
図 3-35 CS衛星放送との干渉試験の様子 81
図 3-36 測定構成簡略図 81
図 3-37 CS受信機コンバータ部の受信特性 85
図 3-38 2m離隔位置での干渉試験結果 86
図 3-39 気象レーダーに関する実証試験の測定構成及び機器の設置状況 90
図 3-40 実証試験での干渉解析フロー 91
図 3-41 気象レーダーへの与干渉が最大となる周波数関係 92
図 3-42 送受のスペクトル特性 93
図 3-43 離調なしの受信電力測定結果(表 3-57(e)、(g)) 94
図 3-44 離調ありの受信電力の測定結果(表 3-57(a)、(c)) 94
図 3-45 測定干渉信号と干渉シミュレーション信号の整合性確認 95
図 3-46 測定スペクトルとシミュレーションのスペクトル 95
図 3-47 離調なし、沿岸:短パルス送信(表 3-57((e)、(f)) 96
図 3-48 離調なし、沿岸:長パルス送信(表 3-57((g)、(h)) 97
図 3-49 離調あり、沿岸:短パルス送信(表 3-57((a)、(b)) 97
図 3-50 離調あり、沿岸:長パルス送信(表 3-57((c)、(d)) 98
図 3-51 R3 年度高機能レーダー技術試験事務で観測した実干渉強度 PPI と 99
図 3-52 R3 年度高機能レーダー技術試験事務で観測した実干渉強度 PPI と 99
図 3-53 気象レーダーのアンテナパターンモデル(方位角) 100
図 3-54 周波数配置 101
図 3-55 干渉除去の概念図(現行方式) 101
図 3-56 シミュレーションと高機能レーダー技術試験結果の比較 102
図 3-57 シミュレーションと高機能レーダー技術試験結果の比較 103
図 3-58 シミュレーションと高機能レーダー技術試験結果の比較 103
図 3-59 強度(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし) 104
図 3-60 速度(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし) 105
図 3-61 速度幅(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし) 105
図 3-62 偏波間相関係数(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし) 106
図 3-63 レーダー反射因子差(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし) 107
図 3-64 偏波間位相差(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし) 107
図 3-65 強度(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調あり) 108
図 3-66 速度(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調あり) 109
図 3-67 速度幅(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調あり) 109
図 3-68 偏波間相関係数(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調あり) 110
図 3-69 レーダー反射因子差(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調あり) 111
図 3-70 偏波間位相差(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調あり) 111
図 3-71 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差特性 112
図 3-72 周波数離調時の強度(干渉 PRF=3,500Hz) 113

図 3-73 周波数離調時の速度（干渉 PRF＝3,500Hz）.....114
図 3-74 周波数離調時の速度幅（干渉 PRF＝3,500Hz）.....114
図 3-75 周波数離調時の偏波間相関係数（干渉 PRF＝3,500Hz）.....115
図 3-76 周波数離調時のレーダー反射因子差（干渉 PRF＝3,500Hz）.....115
図 3-77 周波数離調時の偏波間位相差（干渉 PRF＝3,500Hz）.....116
図 3-78 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差特性（干渉 PRF＝3,500Hz）.....117
図 3-79 沿岸監視用レーダーの短パルスと長パルスの周波数を入れ替えた配置（H 配置）.....118
図 3-80 周波数離調時の強度（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....119
図 3-81 周波数離調時の速度（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....119
図 3-82 周波数離調時の速度幅（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....120
図 3-83 周波数離調時の偏波間相関係数（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....120
図 3-84 周波数離調時のレーダー反射因子差（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....121
図 3-85 周波数離調時の偏波間位相差（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....121
図 3-86 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差特性（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）.....122
図 4-1 令和 2-4 年度における主な調査項目の関係性.....128
図 4-2 9,410MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値.....138
図 4-3 9,740MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値.....138
図 4-4 9,410MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値.....139
図 4-5 9,740MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値.....139
図 4-6 9,800MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値.....140
図 4-7 EIRP と離隔距離の関係.....143

表 目次

表 1-1 レーダー技術活用可能性 2
表 1-2 総合実証試験スケジュール 2
表 1-3 各周波数帯域における試作アンテナの共用判定結果をアンテナの共用判定結果 3
表 1-4 陸上設置気象レーダーとの共用の考え方 4
表 1-5 航空機用気象レーダーとの共用の考え方 4
表 1-6 CS衛星放送との共用の考え方 5
表 2-1 ヒアリングにおける沿岸監視用レーダーについての質問事項 7
表 2-2 ITU-R M.1796-3 に示されるレーダーモデル G3 の代表的諸元 10
表 2-3 Hensoldt 社“SPEXER 2000”の製品諸元 11
表 2-4 ヒアリングにおける波高測定用レーダー及び鳥探知用レーダーについての質問事項 12
表 2-5 Miros 社“SM-050”の製品諸元 13
表 2-6 Robin Radar Systems 社“MAX”の製品諸元 14
表 2-7 Robin Radar Systems 社“3D Flex”の製品諸元 15
表 2-8 レーダー技術活用可能性 16
表 3-1 総合実証試験スケジュール 18
表 3-2 各周波数帯域における試作アンテナの共用判定結果 19
表 3-3 試作アンテナの仕様 20
表 3-4 送受信機の共用判定結果 23
表 3-5 送受信機の仕様 24
表 3-6 パルス圧縮における出力例 31
表 3-7 干渉レベル計算諸元 与干渉局 42
表 3-8 干渉時間率計算の組み合わせ 42
表 3-9 干渉レベル計算諸元 被干渉局：9,700MHz 帯_気象レーダー 43
表 3-10 被局：9,700MHz 帯の干渉シミュレーション結果 所定離隔距離における干渉レベル 44
表 3-11 被局：9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果 所定離隔距離における PPI 画像 44
表 3-12 被局：9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離（メイン-メイン）離隔距離（小さい順） 46
表 3-13 与局：9,800MHz 帯／被局：9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離（ローブ組み合わせ） 46
表 3-14 与局：9,740MHz 帯／被局：9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離（ローブ組み合わせ） 46
表 3-15 与局：9,400MHz 帯／被局：9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離（ローブ組み合わせ） 47
表 3-16 被局：9,740MHz 帯_気象レーダーにおける干渉時間率計算の組み合わせ 47
表 3-17 与局：9,800MHz 帯／被局：9,700MHz 帯_気象レーダー 干渉時間率計算用諸元 48

表 3-18 与局:9,740MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー 干渉時間率計算用諸元..48
表 3-19 与局:9,800MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー 干渉時間率結果(与被局各1局) 48
表 3-20 与局:9,740MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー 干渉時間率結果(与被局各1局) 49
表 3-21 干渉レベル計算諸元 被干渉局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダー.....52
表 3-22 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果 所定離隔距離における干渉レベル 53
表 3-23 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果 所定離隔距離における PPI 画像 53
表 3-24 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離(メイン-メイン)離隔距離小さい順.....54
表 3-25 与局:9,800MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 55
表 3-26 与局:9,740MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 55
表 3-27 与局:9,400MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果 ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 55
表 3-28 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーにおける干渉時間率計算の組み合わせ.....56
表 3-29 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダー 干渉時間率計算用諸元.....56
表 3-30 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダー 干渉時間率結果(与被局各1局).....57
表 3-31 レベル計算諸元 被干渉局:9,400MHz 帯_航空気象レーダー 59
表 3-32 レベル計算諸元 被干渉局:9,500MHz 帯_航空気象レーダー 60
表 3-33 被局:9,400[MHz]帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の必要となる最小離隔距離(メイン-メイン)離隔距離小さい順.....61
表 3-34 与局:9,800MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 61
表 3-35 与局:9,740MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 61
表 3-36 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 62
表 3-37 被局:9,500[MHz]帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の必要となる最小離隔距離(メイン-メイン)離隔距離小さい順.....62
表 3-38 与局:9,800MHz 帯／被局:9,500MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 62
表 3-39 与局:9,740MHz 帯／被局:9,500MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 63

表 3-40 与局:9,400MHz 帯／被局:9,500MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果 最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ) 63
表 3-41 被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーにおける干渉時間率計算の組み合わせ 64
表 3-42 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯・9,500MHz 帯_航空気象レーダー 干渉時間率計算用諸元 65
表 3-43 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯・9,500MHz 帯_航空気象レーダー 干渉時間率結果(与局:1 局／被局:1 局) 65
表 3-44 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯・9,500MHz 帯_航空気象レーダー 干渉時間率結果(与局:4 局／被局:1 局) 65
表 3-45 東京湾における単位時間あたりの平均船隻数(2013 年 10 月 17 日) 69
表 3-46 実験試験局の運用スケジュール 72
表 3-47 CS／BSの放送信号の周波数諸元 77
表 3-48 9,850MHz 帯が影響する CS 衛星放送チャンネル 77
表 3-49 衛星放送の干渉条件 78
表 3-50 レーダー装置の送信諸元 80
表 3-51 レーダー装置の近接距離でのレーダー信号強度の測定結果 80
表 3-52 30m離隔での干渉確認 82
表 3-53 気象レーダー装置の仕様 88
表 3-54 沿岸監視用レーダー装置の仕様 89
表 3-55 測定器の仕様 91
表 3-56 沿岸監視用レーダーに対する気象レーダーの周波数離調量 92
表 3-57 周波数離調時の受信強度の理論値 93
表 3-58 沿岸監視用レーダーパルス諸元 103
表 3-59 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差分布の分散値 112
表 3-60 9,800MHz 帯向けの沿岸監視用レーダーの新パルス条件 113
表 3-61 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差分布の分散値 117
表 3-62 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差分布の分散値(H 配置) 122
表 3-63 CS干渉に対する方針 124
表 4-1 令和 2-4 年度における主な調査項目 127
表 4-2 沿岸監視用レーダー技術的条件の周波数帯毎の検討方針 129
表 4-3 技術的条件 A と技術的条件 B の適用周波数帯 130
表 4-4 IALA Standard の距離分解能、方位分解能、探知性能を満足する固体化レーダーの仕様 131
表 4-5 送信方式についての技術的条件 131
表 4-6 周波数と許容偏差についての技術的条件 132
表 4-7 空中線電力と許容偏差についての技術的条件 134
表 4-8 EIRP(等価等方放射電力)についての技術的条件 135
表 4-9 電波の型式についての技術的条件 135
表 4-10 送信パルス幅についての技術的条件 135

表 4-11 送信繰り返し周波数についての技術的条件 136
表 4-12 占有周波数帯幅についての技術的条件 136
表 4-13 帯域外領域のスプリアス発射についての技術的条件 137
表 4-14 スプリアス領域の不要発射についての技術的条件 140
表 4-15 他の無線システムとの共用条件についての技術的条件 141
表 4-16 CS 干渉対応についての技術的条件 142
表 4-17 CS 干渉閾値計算のためのパラメータ 142

1.　調査検討の概要

1.1　背景と目的

X 帯沿岸監視用レーダーは昨今のテロ対策にも利用され、重要拠点のセキュリティ対策等での需要が高まっており、今後十年間におけるX帯沿岸監視用レーダーの新規設置及び固体素子型への更新数は全国で計 150 件（海上保安、発電所、石油備蓄、天然ガス基地、魚場監視他）を超える見込みであり、既存の 9.7GHz 帯では干渉が増大することが見込まれている。

対して、X 帯気象用レーダーは、地球温暖化と都市化に伴い豪雨被害が甚大化する傾向があり、これを早期に検知し対策するため、従来のパラボラ型気象用レーダーよりも短時間で高精度な観測が可能なフェーズドアレイ型気象用レーダー等の次世代高機能レーダーへの需要が高まっており、今後、設置数が増加しさらに干渉が増加することが見込まれている。

本技術試験事務は、今後、需要の高まりに応じて X 帯沿岸監視用レーダーの設置数が増加することによって周波数がひっ迫することを解消するため、X 帯沿岸監視用レーダーの周波数帯を含む技術的条件を検討することにより、異レーダー間の周波数共同利用を促進するものであり、複数帯域対応型等の沿岸監視用レーダーの高度化に資することを目的とする。

1.2　実施概要

1.2.1　沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査検討

（1）　新技術（フェーズドアレイ等）の可能性検討

沿岸監視用レーダーの技術的条件を検討する際に参考とするため、沿岸監視用レーダーに今後実装される可能性のある新技術について文献調査及びヒアリングを通じて調査した。沿岸監視用レーダーに対するユーザの要望を確認した上で、具体的な技術としてフェーズドアレイとその他に実装可能性のある新技術の有無を含めて調査した。

（2）　波高測定用レーダーや鳥探知用レーダーへの適用可能性検討

沿岸監視用レーダー技術について、波高測定用レーダーや鳥探知用レーダーへの適用可能性について、文献調査及びヒアリングを通じて検討した。波高測定用と鳥探知用レーダーそれぞれに対するユーザの要望を確認した上で、本調査検討会において沿岸監視用レーダーに対して検討した複数帯域対応型の仕組みや固体素子の利用、耐環境性能といった技術要素が、これらレーダーに有用な技術であるかを検討した。

（3） 技術動向調査のまとめ

沿岸監視用レーダーや波高測定用レーダー、鳥探知用レーダーの動向調査の結果は表 1-1 にまとめられる。新技術としてフェーズドアレイは沿岸監視用レーダーへの適用可能性は現時点では高くないものの、沿岸監視用レーダーを活用して実利用されている鳥探知用レーダーで活用される可能性がある。沿岸監視用レーダーに適用される可能性があるその他の技術については、他センサとの情報統合やトラッキング手法の高度化等であり、周波数共用する他の無線システムに影響を及ぼす可能性は低いものと考えられる。

また本調査検討会で議論した沿岸監視用レーダー技術は複数帯域対応及び耐環境性能であり、本調査で検討された技術は、沿岸監視用レーダー以外の無線システム、特にレーダーへの適用が可能性があると考えられる。

表 1-1 レーダー技術活用可能性

技術カテゴリ		主な特徴・効果	想定される、技術の活用可能性
新技術	フェーズドアレイ	3次元スキャン、高速スキャン、メンテナンス性、高コスト	鳥探知用レーダーでの活用可能性あり ※津波向け海洋レーダーでは活用されている
	その他技術 （他センサとの組み合わせ、トラッキング技術、AI技術）	ー （物標探知・認識性能の向上に寄与）	沿岸監視用レーダーでの活用可能性あり
沿岸監視用レーダー技術	複数帯域対応型	干渉影響の軽減、製造コスト低減 ※ただし顧客メリットを明確にする必要あり	いずれのレーダーでも活用可能性あり
	耐環境性能	耐風速・耐震性へのニーズ、高コスト （部品見直し、性能評価試験のため）	いずれのレーダーでも活用可能性あり

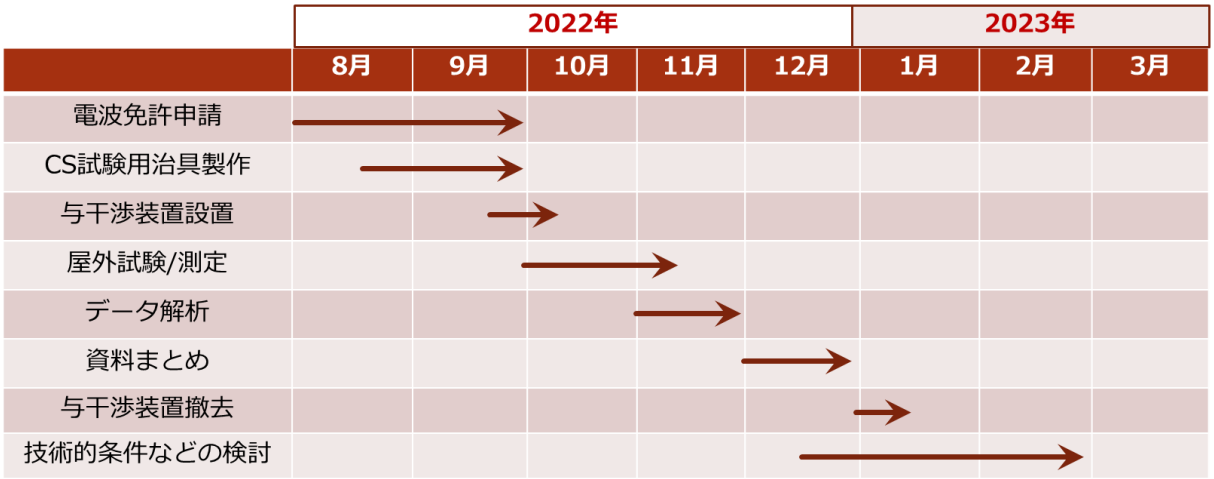
出所）三菱総合研究所作成

1.2.2 X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討

（1） 総合実証試験計画の策定

屋外での試験を含む総合実証試験実施のため、試験計画の策定及び環境構築を行った。総合実証試験スケジュールを表 1-2 に示す。

表 1-2 総合実証試験スケジュール



出所）日本無線作成

（2） 総合実証試験事前検討

1） 試作アンテナ及び送受信機の評価

総合実証試験での使用を目的として試作した18ft アンテナ（駆動部及び輻射部）及び治具として準備した回転制御装置を用いて総合評価試験を実施した。総合評価では、回転性能評価、防水性能評価、VSWR特性評価を実施し、問題なく屋外実証試験で使用可能であること確認した。また、総合評価結果をもとにアンテナの仕様を規定し、さらに複数周波数帯域における共用判定を行った。

各周波数帯域における共用判定の結果を表 1-3 に示す。

表 1-3 各周波数帯域における試作アンテナが複数帯域で使用できるかの共用判定結果をアンテナの共用判定結果

周波数帯域	共用可否	検討結果
8,850-9,000MHz 帯	共用不可	輻射部のサイドローブ、利得において仕様未達
9,300-9,500MHz 帯	共用可能	輻射部の製造誤差により、 放射特性のばらつきが発生する可能性がある
9,740-9,790MHz 帯	共用可能	輻射部と駆動部は要求性能を満足する
9,800-10,000MHz 帯	共用可能	輻射部と駆動部は要求性能を満足する

出所）日本無線作成

2） 干渉シミュレーション

令和3年度までに実施した手法を活用して干渉シミュレーションを行い、他の無線システムとの共用可能性を検討した。共用可能性検討の対象となる無線システムは、気象レーダー、船舶航行用レーダー、航空機搭載用気象レーダーとし、与干渉局である沿岸監視用レーダーの周波数は9,400MHz帯、9,740MHz 帯、9,800MHz 帯とした。

9,700MHz 帯の周波数を使用する気象レーダー及び 9,400MHz 帯の周波数を使用する船舶航行用との干渉シミュレーションでは、被干渉局の受信フィルタの特性毎に干渉レベルを算出するとともに干渉時間率も算出した。

航空機搭載用気象レーダーとの干渉シミュレーションでは、被干渉局の無線周波数を 9,400MHz 帯と 9,500MHz 帯に対して最小離隔距離を算出し、干渉時間率も算出した。

上記結果を踏まえて検討した共用条件を（6）に記載する。

（3） 総合実証試験準備

千葉県館山市において総合実証試験を実施するため、実験試験局の免許取得と機材の設置工事を行った。

（4） 総合実証本試験

千葉県館山市の実験試験局ならびに船形漁港において、CS 受信機との干渉試験及び気象レーダー装置との干渉試験を実施した。なお、CS 受信機との干渉試験はスカパーJSAT 株式会社、気象レーダー装置との干渉試験は東芝インフラシステムズ株式会社の協力を得て実施した。

（5） 総合実証本試験結果分析

実証試験では、CS 受信設備における電力束密度が「＋6dBW/㎡」を超えると干渉の影響が生じた。この電力束密度は、当初に見積もっている「＋2．2dBW/㎡」に対し4dB ほど大きな値あるが、測定誤差範囲内と考えられ、想定した干渉閾値と大きく相違がない結果が得られた。この結果を踏まえて検討した共用条件を（6）に記載する。

（6） 同一周波数帯の他の無線システムとの共用条件

干渉シミュレーション結果ならびに屋外実証試験の結果を踏まえ、他の無線システムとの共用条件の方針を検討した。

1） 陸上設置気象レーダーとの共用

陸上設置気象レーダー装置との共用条件の考え方を表 1-4 の通りとする。

表 1-4 陸上設置気象レーダーとの共用の考え方

沿岸監視用レーダー方式	共用条件
マグネトロン	現行と同様、帯域外領域の不要輻射に従うこと、とする。
固体化	9,740MHz 帯：現在と同じく帯域外領域の不要輻射に従うこととする。 9,800MHz 帯：送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していること、とする。

出所）日本無線作成

2） 航空機用気象レーダーとの共用

航空機用気象レーダー装置との共用条件の考え方を表 1-5 の通りとする。

表 1-5 航空機用気象レーダーとの共用の考え方

沿岸監視用レーダー周波数	共用条件
9,400MHz 帯	現行と同様、沿岸監視用レーダーの性能は船舶レーダーと同等とし、現行の審査基準で認められている条件に従うこととする。
9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯	航空機用気象レーダー装置との共用は可能である。 ただし今後、運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において運用調整を行うこと、とする。

出所）日本無線作成

3） CS 衛星放送との共用

CS衛星放送との共用条件の考え方を表 1-6 の通りとする。

表 1-6 CS衛星放送との共用の考え方

沿岸監視用レーダー方式	共用条件
マグネトロン	平成 22 年度に総務省より示された「9GHz帯気象レーダーを運用される方へ」のガイドブックをベースとする。ただし、このガイドブックが改訂された場合は、改訂版をベースとする。 なお、固体化方式での共用条件も遵守すること。
固体化	沿岸監視用レーダーの設置を求める者は、CS受信設備に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすること、とする。 また、CS受信設備への干渉影響が懸念される場合は、当該環境における共用検討を実施した上でCS放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること、とする。

出所）日本無線作成

1.2.3 取りまとめ、評価等

（1） 3 年間の実施結果の取りまとめ

本技術的試験事務ではＸ帯を使用する沿岸監視用レーダーの設置や技術的条件に関わる国内外動向やその他周辺の無線システムの設置状況を調査し、以降の検討事項の参考情報として活用した。

異レーダー間の周波数共用の一つの方法として複数帯域対応型等の沿岸監視用レーダーを検討し、複数帯域対応型レーダーとして輻射部、駆動部、固体化送受信機を試作した。試作した複数帯域対応型レーダーの性能の評価を実施し、設計仕様を満たしていることを確認した。

周波数共用可能性及び共用条件の具体検討のため、沿岸監視用レーダーの他の無線システムへの干渉影響について干渉シミュレーションによる机上検討と、試作した複数帯域対応型沿岸監視用レーダーを用いた屋外実証試験により評価した。

（2） 総合評価

Ｘ 帯を使用する他の無線システムを利用する関係者を含む構成員からなる調査検討会に検討状況を定期的に報告し議論したうえで、沿岸監視用レーダーと周辺の無線システムの共用条件の策定を行い、同共用条件に基づいてX帯沿岸監視用レーダーの技術的条件案を取りまとめた。以上を踏まえ、本調査検討の目的を達成できた。

（3） 技術的条件（案）の策定

付録 2 に示す通り、沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）を策定した。

1.3　調査検討会の実施

国立大学法人東京海洋大学庄司るり教授を座長とし、総勢 14 名からなる調査検討会を設置し、4 回の会合を開催した。

2. 沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査検討

本年度策定する沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）が、新技術の導入や他の目的でのレーダー使用に影響を及ぼさないか確認するため、沿岸監視用レーダーや、沿岸監視用レーダーと同等の無線システム構成のレーダーの技術動向を調査した。具体的には沿岸監視用レーダーに今後導入される可能性のある新技術と、沿岸監視用レーダーと同等のシステムが使用される場合のある波高測定用レーダーと鳥探知用レーダーについて、近年の動向を調査した。

2.1 新技術（フェーズドアレイ等）の可能性検討

沿岸監視用レーダーに今後実装される可能性のある新技術について調査した。技術動向調査の前提として、レーダーに対するユーザの要望と、新技術の活用可能性をヒアリングにより確認した。ヒアリングにおける質問事項を表 2-1 に示す。また艦船レーダー等において実装事例のあるフェーズドアレイ技術に加え、その他に実装可能性のある新技術の有無を含めて文献調査を行った。

表 2-1 ヒアリングにおける沿岸監視用レーダーについての質問事項

大項目	小項目
現在／今後想定される沿岸監視用レーダーに対するニーズ	沿岸監視用レーダーのユースケース
	沿岸監視用レーダーの機能や性能に対するニーズ
新技術の活用可能性 （ニーズ及び技術的実現性の観点から）	フェーズドアレイ技術
	その他の技術

出所）三菱総合研究所作成

2.1.1 沿岸監視用レーダーに対するニーズ

ヒアリング調査に基づき、沿岸監視用レーダーに対するニーズとしては以下が挙げられる。

- 沿岸監視用レーダーの機能や性能に対するニーズ
  - （沿岸監視用レーダーのもとになった船舶用レーダーは）かつて目的地の方向を確認するために海上から遠方を捉えるニーズがあったが、現在は GNSS の利用が普及したこともありそれほど遠方まで探知できることは求められていない。
  - 沿岸監視の目的であれば港外から入ってくる船を監視できればよく、海上交通センターで使用するレーダーほどの高解像度性能は求められない。ユーザ側では必ずしも高分解能に対する要望が高まっているわけではない。
  - どのような船が存在しているのか、その船は脅威として考えるべき対象なのか等、個別の船について知りたいというユーザ要望もあり得る。レーダー単体で商船か漁船を見分けられるか、物標のサイズを計測できるかといった「物標識別」に対するニーズが高まっている。
  - 沿岸監視用レーダーに対する国内のニーズは IALA の基準・モデル（Basic、Standard、Advanced）に準じたものではなく、一定距離離れた地点に存在する一定サイズの物標を捉えたいという要望を聞くことがある。

- 雨や波の影響自動除去に加え、港湾ではコンテナクレーンが偽像を生じる場合がある。それら偽像除去を自動で行える機能に対する実装要望がある。

- 沿岸監視用レーダーのユースケース
  - 将来的には船舶の自律航行のため沿岸監視用レーダーが活用されることも想定される。

2.1.2 新技術の可能性

フェーズドアレイ等の新技術の沿岸監視用レーダーへの適用可能性は以下の通りである。

(1) フェーズドアレイ

1) 技術概要

パラボラアンテナでは、アンテナの向きを機械的に動かし波面の向きを変えることでアンテナビームを空間内で走査する。ビームの波面を電子的に傾けることでも空間内を走査することができる(電子走査アンテナ)。走査イメージを図 2-1 に示す。

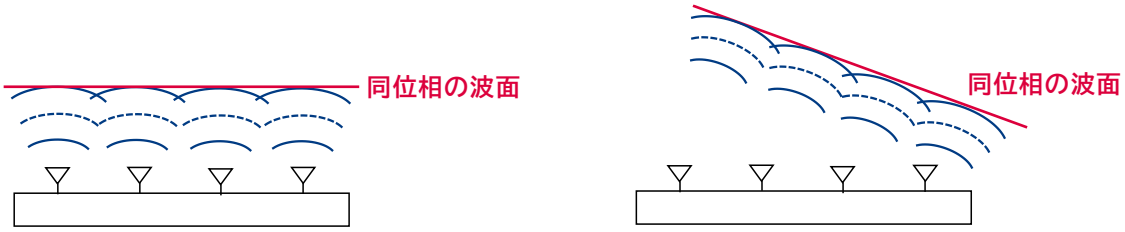


図 2-1 電子的な走査方法のイメージ

出所)レーダーシステムの基礎理論(伊藤, 2015)に基づき三菱総合研究所作図

電子走査アンテナには、大きく分けて 3 通りのビーム走査方式(位相走査方式、周波数走査方式、ビーム切換方式)があり、フェーズドアレイ方式はその一つの方式(位相走査方式)である。なお位相走査方式では、アレイアンテナ全体の波面がビームの指向方向に直交するように、各素子アンテナから放射する電波の位相を設定する。

フェーズドアレイの放射特性を図 2-2 に示す。フェーズドアレイの特徴は具体的には以下の通り。

- フェーズドアレイアンテナは放射指向方向を瞬時に変えられる(放射指向特性の瞬時変化機能)。
- ファンビームを用いる捜索モードと、ペンシルビームを用いる追尾モードを、時間で分割して機能させることで一台のレーダーで行うことが出来る。
- アンテナに多数の放射素子と移相器などの素子を用いるため構造が複雑であり高価でもある。

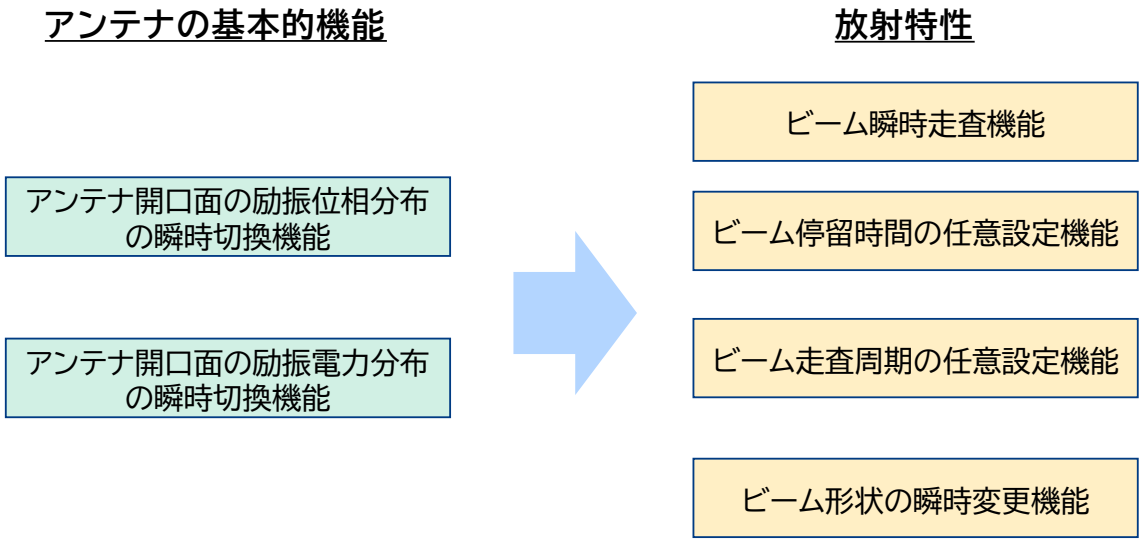


図 2-2 フェーズドアレイアンテナの機能と実現される放射特性

出所)レーダーシステムの基礎理論(伊藤, 2015)に基づき三菱総合研究所作図

フェーズドアレイレーダーは気象レーダーで実用化されている。マルチパラメータ気象レーダーとフェーズドアレイ気象レーダーの特長比較を図 2-3 に示す。

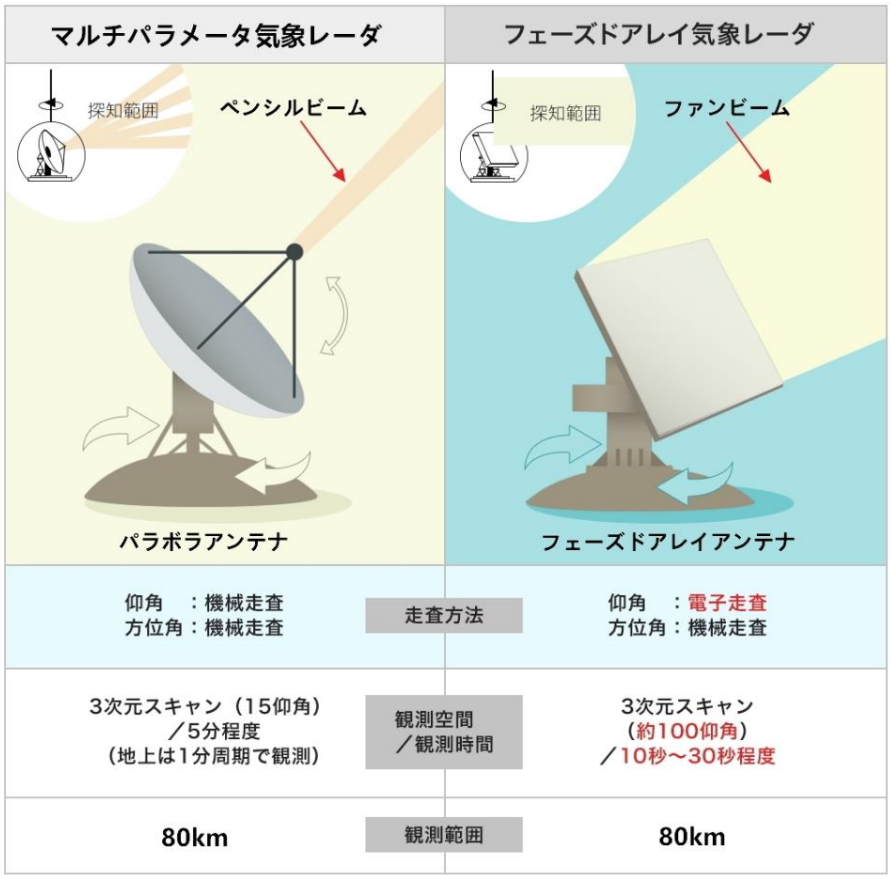


図 2-3 マルチパラメータ気象レーダーとフェーズドアレイ気象レーダーの特長比較

出所)東芝 https://www.toshiba-clip.com/detail/p=179 (2023 年 3 月 10 日閲覧)

2） フェーズドアレイ沿岸監視用レーダーの諸元

ITU-R 勧告のReccomendation M.1796-3 において、8.5GHz から 10.68GHz の周波数を使用する無線標定レーダーの代表的な諸元が示されている。フェーズドアレイ型レーダーとして、地上設置型の無線標定レーダーの例の一つがG3（Tracking radar）である。レーダーモデルの諸元を表 2-2 に示す。

表 2-2 ITU-R M.1796-3 に示されるレーダーモデル G3 の代表的諸元

特性	System G3
機能	追尾レーダー
プラットフォーム	地上（トレーラー）
周波数帯（MHz）	9,370-9,990
変調	周波数走査パルス
アンテナへのピーク電力（kW）	31
パルス幅（μs）	1
パルス繰り返しレート（pps）	7,690-14,700
最大デューティーサイクル	0.015
立ち上がり／立ち下がり時間（μs）	0.05/0.05
出力装置	進行波管
アンテナパターンタイプ	ペンシル
アンテナタイプ	フェーズドアレイ（導波管スロットアレイ）
アンテナ偏波	直線
アンテナ利得（dBi）	42.2
アンテナ仰角ビーム幅（degrees）	0.81
アンテナ方位角ビーム幅（degrees）	1.74
アンテナ水平走査レート（derees/s）	定めなし
アンテナ水平走査方式（連続、ランダム、セクタ、その他）	セクタ：±45°（位相走査）
アンテナ鉛直走査レート（degrees/s）	定めなし
アンテナ鉛直走査方式	セクタ：90°±アレイの傾き（周波数走査）
アンテナサイドローブレベル（dBi）	定めなし
アンテナ高	地上
受信機 IF 3dB バンド幅（MHz）	1
受信機雑音指数（dB）	定めなし
最小受信感度（dBm）	-107
チャープバンド幅（MHz）	適用なし
RF放射帯域幅（MHz） -3dB -20dB	 0.85 5.50

出所）ITU-R M.1796-3 に基づき三菱総合研究所が表を作成

また実際にフェーズドアレイ式の沿岸監視用レーダー製品として提供している事例を調査した。主要メーカの製品のうちカタログを入手できた、Hensoldt 社の監視用レーダー“SPEXER 2000”の主要諸元を表 2-3 に示す。

表 2-3 Hensoldt 社“SPEXER 2000”の製品諸元

特性	SPEXER 2000
方式	パルスドップラレーダー
周波数帯	X 帯
周波数帯幅	20MHz
出力	平均 16W
探知距離	遊泳者 0.1m^2 RCS: 1km 小船 1.5m^2 RCS: 20km 船 100m^2 RCS: 40km 等
測定範囲	電子的な方位角方向の走査範囲:120° (機械的な回転により 360°) 仰角方向のビーム幅:4.3° (機械的な操作により±20°)
装置サイズ	1.0m×0.7m×0.6m

出所)Hensoldt 社のカタログに基づき三菱総合研究所が表を作成

その他、艦船搭載用レーダーを含めると Thales 社の Sea Watcher 100(X 帯)・SM400 Block 2(S 帯)・APAR Block 2(X 帯及び S 帯)、ELTA Systems(IAI)社の ELM-227 OTH(HF 帯)などフェーズドアレイ式の監視用レーダーが市場に存在する。

3) フェーズドアレイの活用可能性

ヒアリング調査に基づき、フェーズドアレイの活用可能性について以下のポイントが挙げられる。

- フェーズドアレイレーダーは高速スキャンができることが最大の利点である。また航空機を探知する必要のあるレーダーでは、3 次元トラッキングできることが求められ、フェーズドアレイが選択される。
- 沿岸監視用レーダーでは上空を見るニーズがあまりなく、フェーズドアレイを用いる必要性が乏しい。また海上物標はあまり高速に動くこともなく、既存レーダーである程度トラッキングできている。
- フェーズドアレイはコスト面で現行のものよりも不利である。ただし回転機構が不要であることはメリットであり、メンテナンス性は長けていると言える。現行の沿岸監視用レーダーでは、数年おきにオーバーホールや駆動部の中のモーター、グリスアップが必要である。船舶用レーダーはノーメンテで動いているのが実態であろうが、陸上設置の場合は大型のアンテナを使うことになるためメンテナンス性能は重要な要素である。

(2) その他の技術

ヒアリング調査に基づき、フェーズドアレイ以外の新技術の活用可能性について以下のポイントが挙げられる。

- シークラッター対策が十分でない状況であれば、その抑圧手法の開発・導入も今後あり得る。
- トラッキングの技術は継続的に改良され続けている。いかに低 S/N で探知できるか、いかに的確に追尾するかが検討されている。
- 沿岸監視用レーダーをネットワーク化して高度化するという展開が想定される。
- カメラ等の他のセンサと組み合わせてシステムとしての高度化が想定される。

- 高度なフェーズドアレイ式としてはバイスタティック観測もあり得る。

2.2 波高測定用レーダーや鳥探知用レーダーへの適用可能性検討

本調査検討において検討した沿岸監視用レーダー技術について、波高測定用レーダーや鳥探知用レーダーへの適用可能性の検討を行った。波高測定用と鳥探知用レーダーの動向について調査し、それぞれの現状の使用状況や要望をヒアリングにより確認した。その上で、本調査検討会において沿岸監視用レーダーに対して検討した複数帯域対応型の仕組みや固体素子の利用、耐環境性能といった技術要素が、これらレーダーに有用な技術であるかを検討した。ヒアリングでの質問事項を表 2-4 に示す。

表 2-4 ヒアリングにおける波高測定用レーダー及び鳥探知用レーダーについての質問事項

大項目	小項目
波高測定用レーダー及び鳥探知用レーダーへの技術の適用可能性	両レーダーに対するニーズ
	沿岸監視用レーダー技術の適用可能性

出所）三菱総合研究所作成

2.2.1 波高測定用レーダー

（1） 波高測定用レーダーの現状・諸元

池田ほか（2014）は、波浪の実行把握のための観測手段として以下を挙げている。

- 海中設置型の超音波式波浪計
- 陸上設置型のレーダー式波浪計
- 係留式ブイに搭載された GPS 波浪計
- 観測塔など海面上から超音波や光を用いる波浪計
- 目視観測
- 衛星や航空機のレーダー高度計

このうち沿岸監視用レーダーに近しいシステムを用いた波浪観測手段は、レーダー式波浪計である。レーダー式波浪計としては、HF 帯、VHF 帯、C 帯、X 帯を利用するものが実用化されている。海上保安庁は X 帯を利用するレーダー式波浪計を展開している一方気象庁は C 帯を利用するレーダー式波浪計を展開して観測している。

C 帯を利用する波高測定用レーダーを Miros 社が提供している。レーダー“SM-050”の諸元・概要を表 2-5 に示す。

表 2-5 Miros 社“SM-050”の製品諸元

特性	SPEXER 2000
方式	パルス
周波数帯	5.8GHz
周波数帯幅	20MHz
出力	平均275mW(最大 10W)
測定範囲	180-450m
設置高	18-80m
測定範囲/解像度/精度(波)	波高: 0-1m／0.1m／±0.2m 1-30m／0.1m／±5% 周期: 3-30s／0.1s／±5% 方向: 1-360°／1°／±7°
測定範囲/解像度/精度(表層流)	流速: 0-2.5m/s／0.01m/s／±0.05m/s 方向: 1-360°／1°／±7°

出所)Miros 社のカタログに基づき三菱総合研究所が表を作成

また、平山ほか(2011)によると、他にも沿岸監視用レーダーと同様のシステムである船舶用レーダー装置は、船舶やブイの識別のために海面からの反射(シークラッタ)を除去しているが、シークラッタを解析することで波浪情報を提供する機器も提供されている。

(2) 波高測定用レーダーへの適用可能性

ヒアリング調査に基づき、波高測定用レーダーの現状・課題として以下が挙げられる。

- 波高測定用レーダーの機能や性能に対するニーズ
  - 船舶用レーダーに波高測定機能を実装している例がある。波高測定用レーダーとしては測定のために短パルスを発射する必要があり、遠方の船舶等を検知するという目的との両立が難しい。
  - 沿岸監視用レーダーと波高測定用レーダーの基本的な諸元は同じであるが、沿岸監視用レーダーは中パルスを使うことが多く、波高測定用では短パルスを使うことが多い。
  - 深い海域と、浅い海域では波の性質が異なるため沿岸付近での観測が難しい。水深が 100m 以上あれば処理ソフトを活用できるが、場所によってパラメータ調整する必要がある。波高測定はキャリブレーション期間を長くとる必要があるため、設置場所を様々変えるのは現実的でない。
  - X 帯では雨が降ると波高測定が難しくなる。5mm 程度の雨が降ると、波の反射強度よりも雨による反射が強く測定が難しくなる。
  - 通常の波浪測定が目的あればフェーズドアレイ式は不要と考えられる。高速スキャンの必要がなく、測定器として使用する目的であれば、ビーム品質が全方位で変わらないパラボアンテナの方が適する。
  - 波高測定用レーダーは常設で使うだけでなく海上工事の安全対策としての使用するニーズがある。風力発電工事時などに設置して波高を測定するニーズがある。

- 沿岸監視用レーダー技術の適用可能性
  - 複数帯域対応型とすることで、干渉軽減に寄与する可能性がある。複数帯域対応型レーダーのメリットが大きければよいが、現状必ずしも顧客にとってのメリットにならない可能性がある。
  - 複数帯域対応型は低コスト化に向けて有効な可能性がある。一つの製品で複数周波数帯域に対応できるのであれば製造コストを抑制できる。
  - 今後耐風速性能に対する要求が高まる可能性がある。しかし十分な大きさの風洞設備が少なく、試験での性能評価は難しい。
  - 耐環境性能としては耐震性も重要と考えられる。
  - 耐環境性能を一律に高めようとするとコストが顧客予算を上回ってしまうことから、都度顧客とコストと性能のバランスを相談して個別対応しているのが現状である。

2.2.2 鳥探知用レーダー

（1） 鳥探知用レーダーの現状・諸元

市場レポート[1]によると鳥探知用レーダーの用途として以下が挙げられる。

- 空港
- 風力発電所
- 鳥類研究・保護

同レポートにおいて主要メーカが示されており、そのうち Robin Radar Systems 社のレーダー製品として“MAX”、回転方向の異なるアンテナ 2 つを組み合わせた“3D Flex”が提供されている。主な諸元は表 2-6、表 2-7 に示す通り。

表 2-6 Robin Radar Systems 社“MAX”の製品諸元

特性	MAX
方式	FMCW
周波数帯	X帯
出力	44W
回転速度	60rpm
探知距離	15km
方位角方向の観測範囲	360°
仰角方向の観測範囲	60°
アンテナサイズ	1237×654×1660mm
重量	325kg

出所）Robin Radar Systems 社のカタログに基づき総合研究所が表を作成

[1] Bird Detection System Market Size, Share, Growth, and Industry Growth by Material (Fixed Bird Detection System, and Mobile Bird Detection System) By Application (Airport, Wind Farms, and Bird Study and Protection) Regional Forecast (2022-2028), Business Research Insights, 2021 （2022 年 12 月21 日閲覧）

表 2-7 Robin Radar Systems 社“3D Flex”の製品諸元

特性	水平アンテナ	鉛直アンテナ
方式	パルス	FMCW
周波数帯	S 帯	X帯
出力	60kW	4W
回転速度	45rpm	20rpm
探知距離	10km	6km
方位角方向の観測範囲	360°	20°
仰角方向の観測範囲	12.5°	360°
アンテナサイズ	3765×575×710mm	2550×663×375mm
重量	133kg	78kg

出所）Robin Radar Systems 社のカタログに基づき総合研究所が表を作成

（2） 鳥探知用レーダーへの適用可能性

ヒアリング調査に基づき、鳥探知用レーダーの現状・課題として以下が挙げられる。

- 鳥探知用レーダーの機能・性能に対するニーズ
  - ユーザニーズとして、低コスト化と大型レーダーの小型化がある。小型化に伴い分解能が課題となるが、分散アレイとして使う等、システムとしての対応が考えられる。ただし分散開口のレーダーは一般にシステム構築が難しい。
- 沿岸監視用レーダー技術の適用可能性
  - 波高測定用レーダーへの適用可能性と同様

2.3 技術動向のまとめ

メーカ、ユーザへのヒアリングを実施し、沿岸監視用レーダーや波高測定用レーダー、鳥探知用レーダーの動向調査を実施した。これまでの調査結果に基づき、新技術の導入可能性及び沿岸監視用レーダー技術の他のレーダーへの活用可能性を表 2-8 に示す。

沿岸監視用レーダーの技術的条件を検討する際には特に新技術の活用可能性を検討する必要がある。新技術としてフェーズドアレイは沿岸監視用レーダーへの適用は現時点で可能性は高くないものの、沿岸監視用レーダーを活用して実利用されている鳥探知用レーダーで活用される可能性がある。沿岸監視用レーダーに適用される可能性があるその他の技術については、他センサとの情報統合やトラッキング手法の高度化等であり、他の無線システムに影響を及ぼす可能性は低いものと考えられる。

表 2-8 レーダー技術活用可能性

技術カテゴリ		主な特徴・効果	想定される、技術の活用可能性
新技術	フェーズドアレイ	3次元スキャン、高速スキャン、メンテナンス性、高コスト	鳥探知用レーダーでの活用可能性あり ※津波向け海洋レーダーでは活用されている
	その他技術 （他センサとの組み合わせ、トラッキング技術、AI技術）	ー （物標探知・認識性能の向上に寄与）	沿岸監視用レーダーでの活用可能性あり
沿岸監視用レーダー技術	複数帯域対応型	干渉影響の軽減、製造コスト低減 ※ただし顧客メリットを明確にする必要あり	いずれのレーダーでも活用可能性あり
	耐環境性能	耐風速・耐震性へのニーズ、高コスト （部品見直し、性能評価試験のため）	いずれのレーダーでも活用可能性あり

出所）三菱総合研究所作成

3.　X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討

3.1　総合実証試験計画の策定

令和2年度に試作したアンテナ及び令和3年度に試作した送受信機等を用いて、他の無線システムに対する干渉検討や沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討に必要な各種データの取得・評価、複数帯域対応型レーダーとしての性能評価等を行う総合実証試験実施するにあたり、環境構築と計画策定を実施した。

総合実証試験の目的として、沿岸監視用レーダーが気象レーダーに与える干渉と CS 受信機に与える干渉を把握することとした。沿岸監視用レーダーが気象レーダーに与える干渉試験では、与干渉装置として、千葉県館山市にある造船所内の実験局に沿岸監視用レーダーを設置し、送信周波数は 9,850MHz とした。また、被干渉装置として、気象レーダーを使用することを検討したが、実機の設置が困難であることから、測定器にてレーダー波を測定し、このデータを用いて気象レーダーへの影響を検討することとした。沿岸監視用レーダーが CS 受信機に与える干渉試験では、与干渉装置として、前述の館山設置の実験局を使用し、被干渉装置として、CS 受信機を使用することとした。

気象レーダー装置への与干渉試験は、以下の要領で実施することとした。

（1）　沿岸監視用レーダー（周波数：9,850MHz）からの送信信号を、船形漁港に設置したスペクトラムアナライザを用いて測定

（2）「令和 3 年度　次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討（X 帯）」において、船形漁港に気象レーダー（周波数：9,740MHz）を設置して実施した屋外実証試験の測定結果と合成

（3）　合成データの解析から、沿岸監視用レーダーの周波数を 9,850MHz とした場合の気象レーダーの干渉影響度を把握

CS受信機は衛星から受信した信号に対して、局部発振信号（ローカル信号）を使い、中間周波数の信号に周波数変換する。このとき、局部発振信号に対して、イメージ周波数領域に存在する信号はフィルタなどを用いて信号強度の抑圧が行われるが、レーダー波がこの周波数領域に存在すると抑圧比の限界から、CS信号と同じ中間周波数の帯域にレーダー信号が現れる懸念がある。沿岸監視用レーダー（周波数：9,850MHz）は、以下の理由により 124・128 度CSの受信装置に影響を与えると考えられる。

- ローカル信号周波数が 11.2GHz の場合に影響
- 9,850MHz（9,810～9,870MHz）のレーダー波は 12,530MHz～12,590MHz のCS帯域に影響
- 該当する放送チャンネル JD1-JD7 のイメージ周波数は 9,788.5MHz-9,905.5MHz

上記より、CS 受信機への与干渉試験は、以下の要領で実施することとした。

（1） 沿岸監視用レーダーから離隔距離 30m のポイントに CS アンテナを設置
（2） CSアンテナを衛星に指向させ、テレビ画面で衛星放送受信を確認
（3） 分配器とスペクトラムアナライザを接続し、放送波の信号レベルを測定
（4） 沿岸監視用レーダーから電波を発射し、テレビ映像に干渉影響が発生することを確認（干渉影響がみられない場合は、CSアンテナの設置位置を調整）
（5） スペクトラムアナライザにて、沿岸監視用レーダーの干渉信号レベルを測定
（6） CSアンテナの位置の電界強度をホーンアンテナで測定し、レーダー波の干渉観測値と併せてCS受信機への干渉度を把握
（7） 沿岸監視用レーダーのアンテナを微調整し、CSアンテナ位置における沿岸監視用レーダーからのEIRPを変動
（8） テレビ映像にブロックノイズが発生しない最大のEIRP値を把握
（9） EIRPの測定結果から、干渉を回避する離隔距離を算出

以上を踏まえて立案した、総合実証試験スケジュールを表 3-1 に示す。

表 3-1 総合実証試験スケジュール

	2022年					2023年		
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
電波免許申請	→	→						
CS試験用治具製作		→						
与干渉装置設置		→						
屋外試験/測定			→	→				
データ解析				→				
資料まとめ					→			
与干渉装置撤去						→		
技術的条件などの検討					→	→	→	

出所）日本無線作成

3.2　総合実証試験事前検討

3.2.1　試作アンテナ及び送受信機の評価

（1）　試作アンテナの評価

令和2年度に試作した18ft アンテナ（駆動部及び輻射部）と今年度に試作した回転制御装置を用いて、総合評価試験を実施した。総合評価としては、回転性能評価、防水性能評価、VSWR特性評価を実施し、屋外実証試験で使用可能であることを確認した。また、総合評価結果にもとづき、アンテナの仕様を規定し、さらに複数周波数帯域で使用できるかの共用判定を行った。各評価結果を以下に示す。

1）　共用判定

各周波数帯域における試作アンテナが複数帯域で使用できるかの共用判定結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 各周波数帯域における試作アンテナの共用判定結果

周波数帯域	共用可否	検討結果
8,850-9,000MHz 帯	共用不可	輻射部のサイドローブ、利得において仕様未達
9,300-9,500MHz 帯	共用可能	輻射部の製造誤差により、 放射特性のばらつきが発生する可能性がある
9,740-9,790MHz 帯	共用可能	輻射部と駆動部は要求性能を満足する
9,800-10,000MHz 帯	共用可能	輻射部と駆動部は要求性能を満足する

出所）日本無線作成

2） アンテナ仕様

共用判定を踏まえた試作アンテナの仕様を表 3-3 に示す。

表 3-3 試作アンテナの仕様

項目	設計仕様
サイズ	W:5320mm、H:705mm、D:420mm
質量	130kg
空中線長	18ft
偏波面	水平偏波
回転速度	10rpm～22rpm で運用可能
送信周波数	9,850±50MHz
水平ビーム幅	0.5 度以下
垂直ビーム幅	20 度以下
利得	34dBi 以上
VSWR	1.3 以下
サイドローブ	-27dB 以下(within ±10°) -34dB 以下(outside ±10°)
使用温度範囲	-25～55℃
低温対策	ネックヒータ装備
耐風速性能(運用)	最大 50m/s
耐風速性能(非破壊)	最大 80m/s
耐環境性	重塩害対応
防水性能	IPx6 相当
入力電源	AC200V で運用可能
装備性	吊上げ用アイボルト装備
メンテナンス性①	定期交換部品の削減
メンテナンス性②	減速機故障時の現地交換対応
運転パターン	起動後 3 秒で指定速度へ到達、その後連続運転

出所)日本無線作成

3） 回転性能評価

日本無線長野事業所の屋上に試作したアンテナ（複写部及び駆動部）を設置し、約 1 ヶ月間の連続運転試験を実施した。約 1 か月間にわたりアンテナが回転速度の仕様（10rpm～22rpm）を満足することを確認した。連続運転試験の様子を図 3-1 に示す。

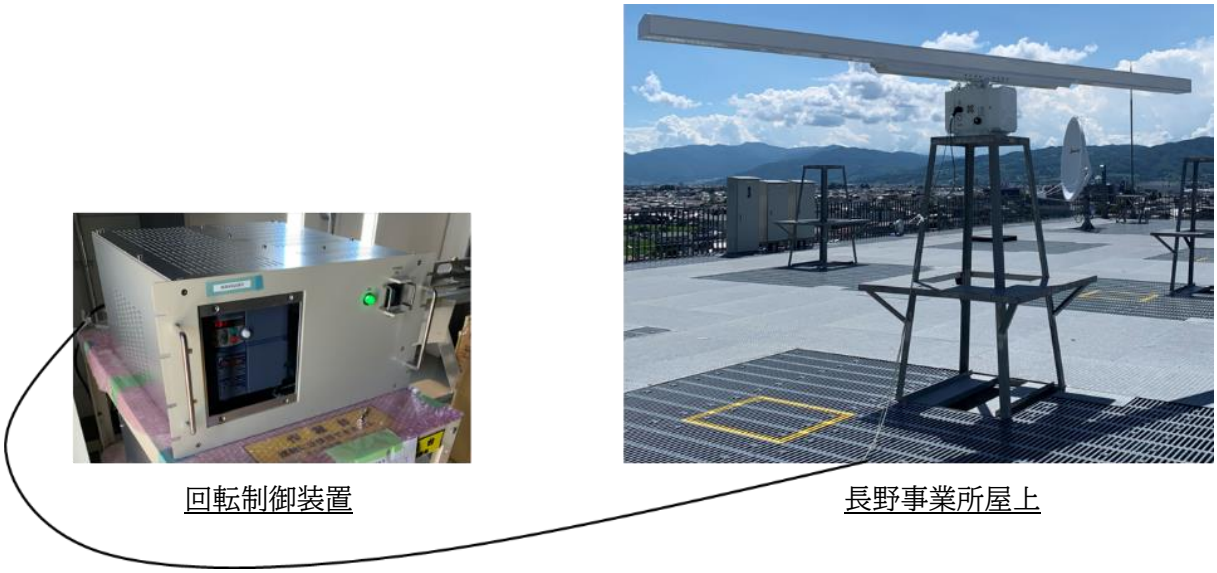


図 3-1 連続運転試験の様子

出所）日本無線撮影

4） 防水性能評価

日本無線長野事業所の散水試験設備にて防水試験を実施し、IPx6 相当の防水性能の仕様を満足することを確認した。防水試験の様子を図 3-2 に示す。なお、IPx6 規格は保護の程度を、いかなる方向からの水の強い直接噴流によっても有害な影響を受けないものと定義している。

図 3-2 防水試験の様子

出所）日本無線撮影

5） VSWR 特性評価

日本無線長野事業所にてアンテナの VSWR 測定を実施し、9,850MHz 帯における目標仕様（VSWR:1.3 以下）を満足することを確認した。VSWR 測定の様子を図 3-3 に、測定結果を図 3-4 に示す。

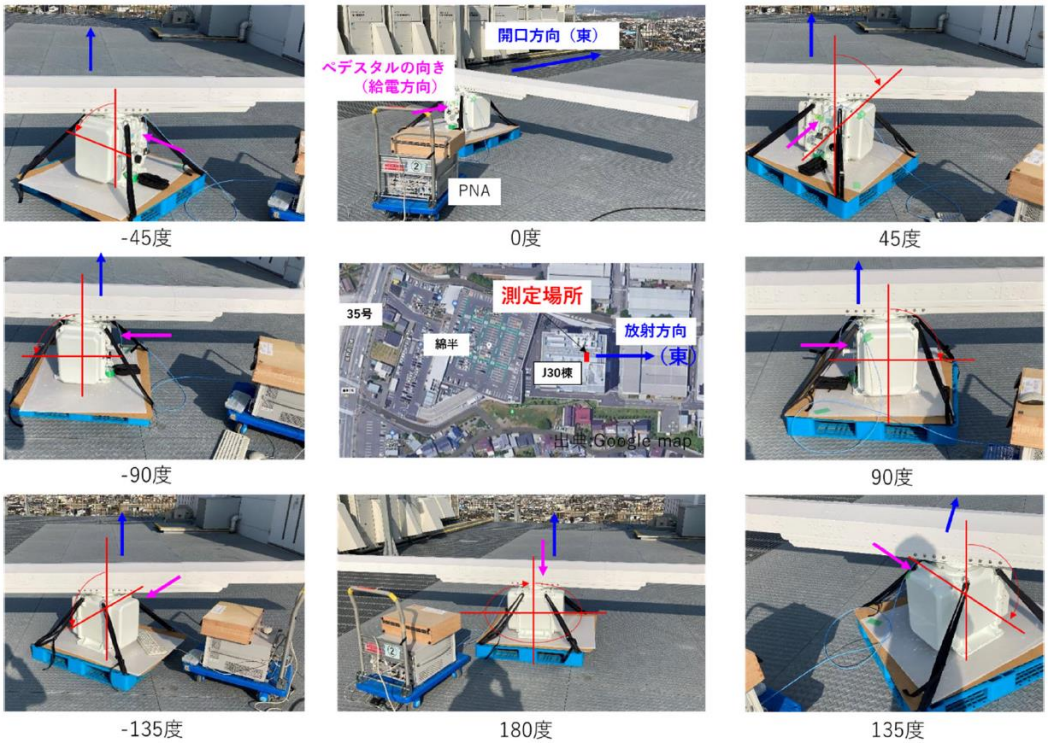


図 3-3 VSWR 測定の様子

出所）日本無線撮影

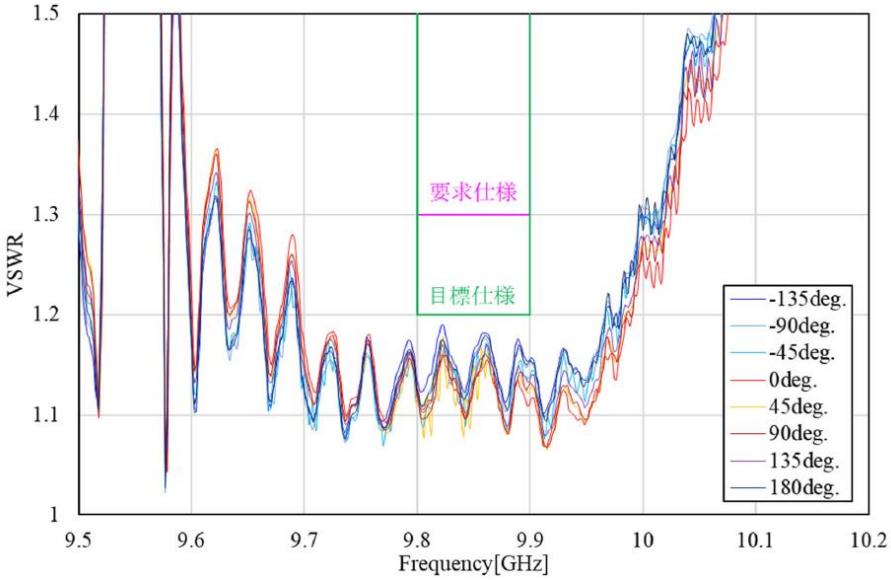


図 3-4 VSWR 測定結果

出所）日本無線作成

（2） 送受信機の評価

令和3年度からの継続評価項目となっていた8,900MHz帯、9,800MHz帯における送受信モジュールの単体評価及び送受信機の総合評価を実施し、送信スペクトラムをはじめとする送受信機諸元について要求性能を満たすことを確認した。また、評価結果をもとに送受信機仕様を規定し、屋外実証試験における使用可否の判断、複数周波数帯域における共用判定（複数帯域で同一のユニットを共用できるか否かの判定）を実施した。

1） 共用判定

送受信機の構成要素のうち、Local Oscillator、Band Pass Filter、サーキュレーター、TRX モジュール、信号処理回路ソフトウェアについて、複数周波数帯域において利用可能かどうかの共用判定を実施した。送受信機のブロック図を図 3-5 に示し、共用判定結果を表 3-4 に示す。

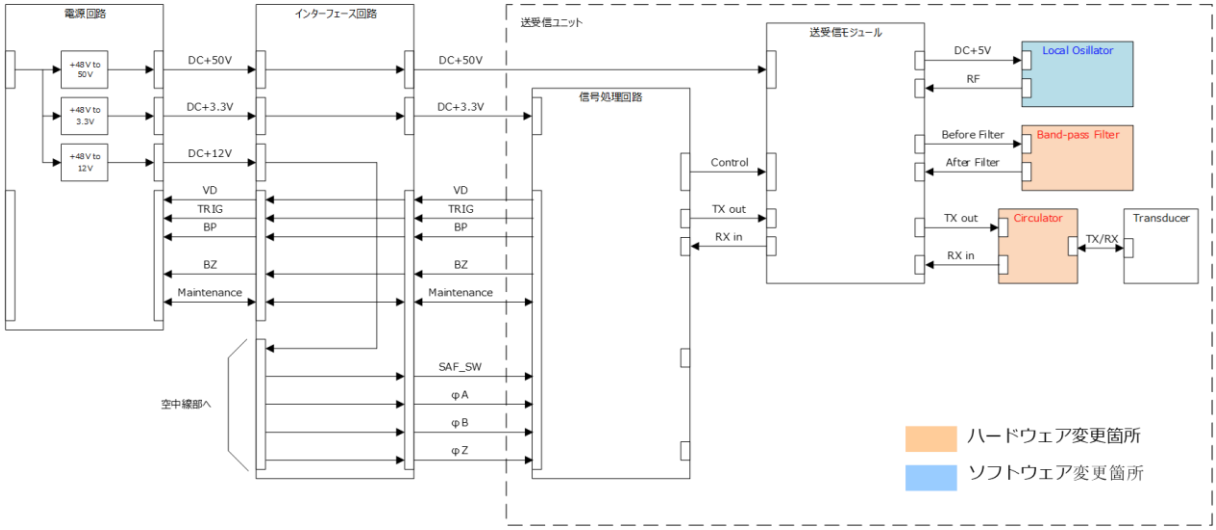


図 3-5 送受信機のブロック図

出所）日本無線作成

表 3-4 送受信機の共用判定結果

ユニット	共用可否	検討結果
Local Oscillator	共用可能	制御プログラムの書き換えにより 送信周波数を変更する
Band Pass Filter	共用不可	周波数帯域に合わせてハードウェアを交換する
サーキュレーター	共用不可	周波数帯域に合わせてハードウェアを交換する
TRX モジュール	共用可能	各周波数帯域で同一のハードウェアを使用する
信号処理回路ソフトウェア	共用可能	各周波数帯域で同一のプログラムを使用する

出所）日本無線作成

2） 送受信機の総合評価

送受信モジュールの単体評価結果を踏まえ、送受信機の仕様を表 3-5 のように規定して、総合評価を実施した。各ユニットを送受信機筐体に組み込んだ状態で、筐体に接続した十字方向性結合器を用いて送信波を測定し、送信特性、受信特性、スプリアス特性が規格を満足することを確認した。測定の様子を図 3-6 に、9,850MHz 帯におけるスプリアス特性の測定結果を図 3-7 及び図 3-8 に示す。

表 3-5 送受信機の仕様

諸元	概要	帯域① 8.85-9.0GHz	帯域② 9.3-9.5GHz	帯域③ 9.8-10.0GHz
中心周波数	周波数帯ごとに規定する	P0N:8,900MHz Q0N:8,930MHz	P0N:9,410MHz Q0N:9,440MHz	P0N:9,835MHz Q0N:9,865MHz
送信パルス幅	各周波数帯域で同一とする	P0N:0.07μs～0.6μs、Q0N:2.8μs～18.3μs		
繰り返し 周波数	各周波数帯域で同一とする	P0N、Q0N ともに 640Hz～4,100Hz		
送信尖頭電力	各周波数帯域で同一とする	200W		
占有帯域幅	各周波数帯域で同一とする	P0N:50MHz 以内、Q0N:35MHz 以内		
スプリアス	電波法に則り規定する	スプリアス領域で-60dBc 以下		
電源電圧	各周波数帯域で同一とする	DC48V		
寸法	各周波数帯域で同一とする	W:394mm、D:300mm、H:584mm		
質量	各周波数帯域で同一とする	20kg		

出所）日本無線作成

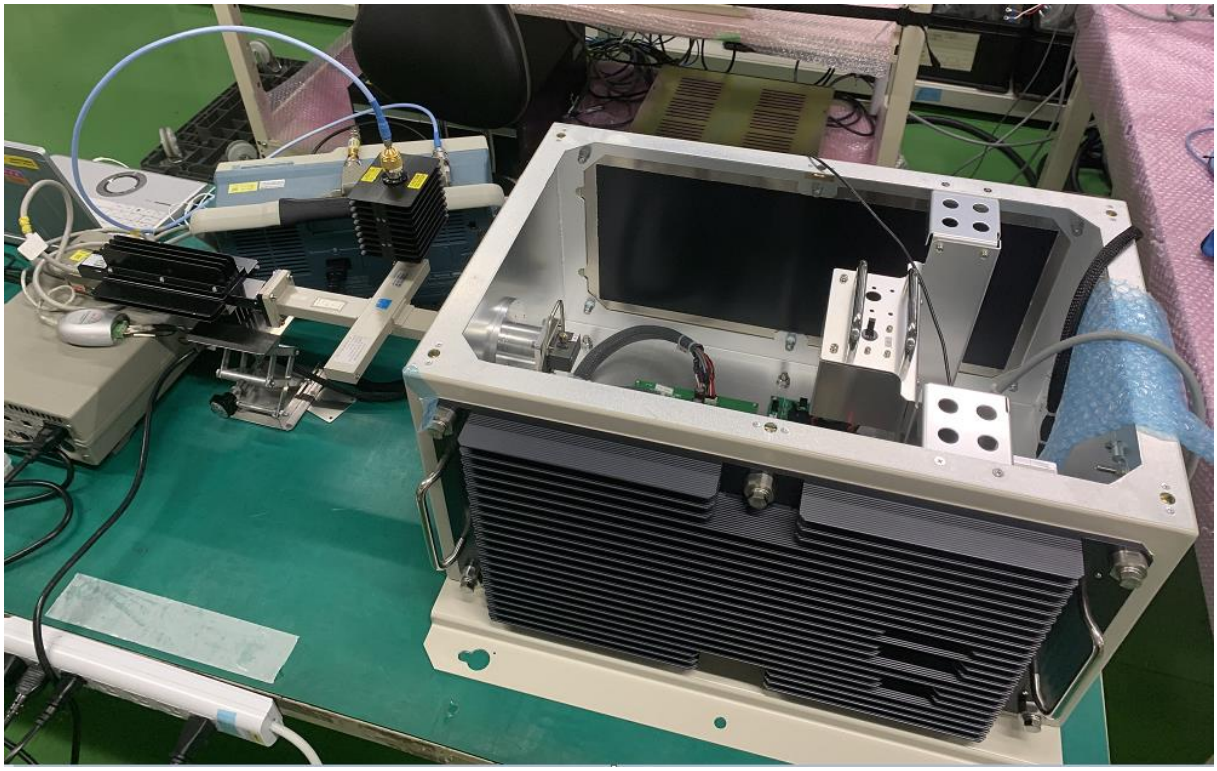


図 3-6 測定の様子

出所）日本無線撮影

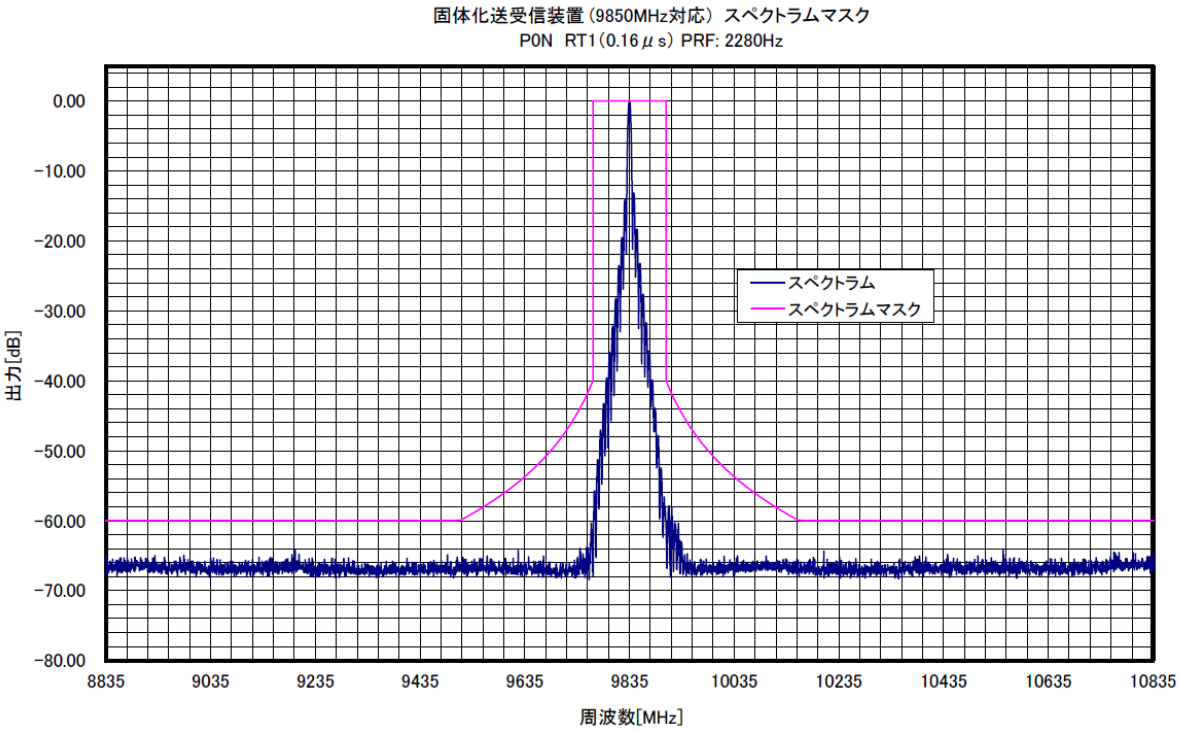


図 3-7 9,850MHz 帯(P0N)のスプリアス測定結果

出所）日本無線作成

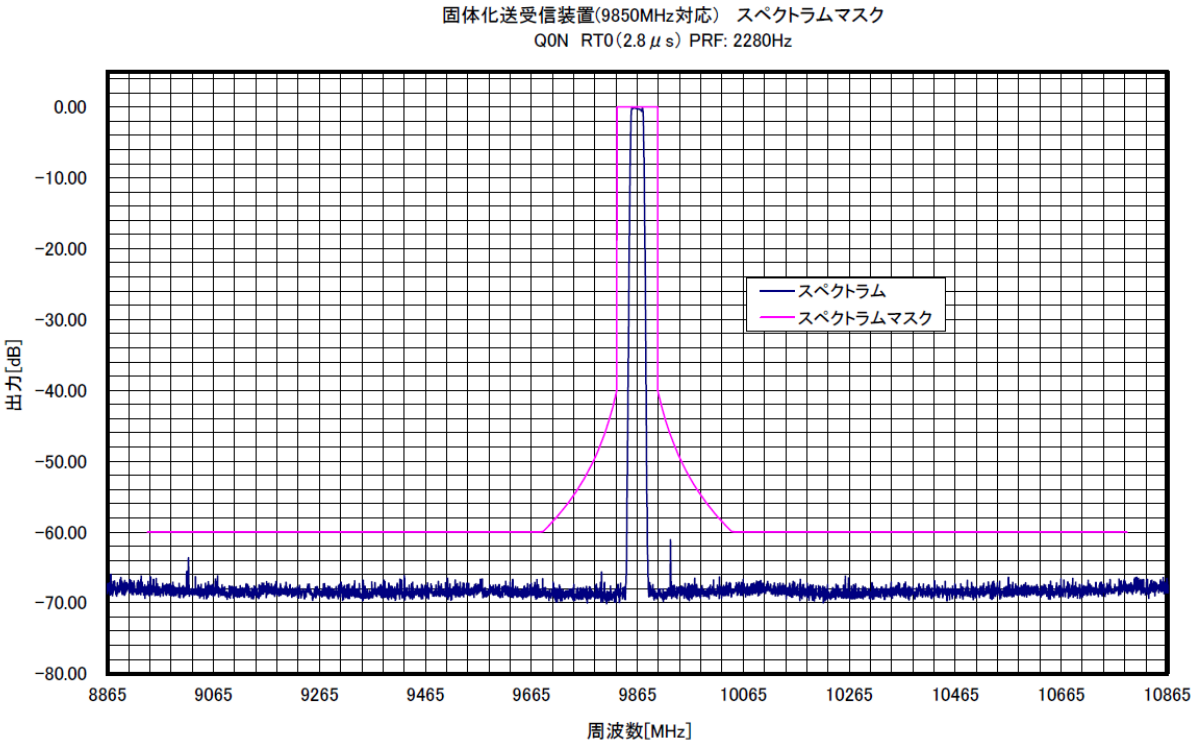


図 3-8 9,850MHz 帯(Q0N)のスプリアス測定結果

出所）日本無線作成

3.2.2　干渉シミュレーション

（1）　今年度実施内容の概要

複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの候補周波数で運用されている無線システムとの干渉シミュレーションは令和 3 年度までに検討を行ってきた。今年度は複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの技術的条件案が規定されたことにより、技術的条件案の諸元を用いて、設置数の多い船舶航行用レーダー（9.4GHz 帯）、航空機搭載用気象レーダー（9.4GHz 帯）及び気象レーダー（9.7GHz 帯）に対する干渉影響度を検討した。なお、干渉シミュレーションを実施する際に以下の点を考慮した

- 航空機搭載用気象レーダーには 8.9GHz 帯を使用するものも確認されたが、複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの技術的条件案から 8.9GHz 帯が外れたことより、8.9GHz 帯の航空機搭載用気象レーダーとの干渉シミュレーションは行わない。
- 9.4GHz 帯航空機搭載用気象レーダーとの干渉シミュレーションでは、与干渉局が 9.4GHz の場合は被干渉局を 9.4GHz 帯としたものの、与干渉局が 9.7GHz 及び 9.8GHz の場合は、帯域外スロープによる干渉影響を確認するため、9.4GHz帯より近傍となる 9.5GHz 帯を被干渉局の周波数とした。
- 9.7GHz 帯気象レーダーにおいては、複数の無線周波数チャネルを所有するため、沿岸監視用レーダーが 9.7GHz 帯で運用された場合と 9.8GHz 帯で運用された場合のそれぞれで与被干渉局間の無線周波数が近接するよう、気象レーダーの無線周波数チャネルを選定してシミュレーションを実施した。

干渉シミュレーションは、令和 3 年度と同様に、無線システムのメインローブ-メインローブ間の干渉だけでなく、メインローブ-サイドローブ間／サイドローブ-メインローブ間／サイドローブ-サイドローブ間の 4 通りに場合分け、干渉が発生する時間率を含め検証を行った。また沿岸監視用レーダーのアンテナパターンについては、試作したアンテナに対して実測したアンテナパターンを活用した。

さらに、屋外実証試験で得られたデータをもとに干渉シミュレーションの妥当性を確認した。

（2）　シミュレーションでの想定

令和3年度までの干渉シミュレーション検討結果を踏まえ、シミュレーションは以下の想定で実施した。

- 与干渉局と被干渉局の関係

  与干渉局と被干渉局は 1 対 1 で対向していると想定し、多数の与干渉局による干渉は考慮しない。

  与干渉局と被干渉局のアンテナ高を同一とする。

  地球の曲率は無視する。
- 電波伝搬モデル

与干渉局と被干渉局間の電波伝搬モデルは自由空間伝搬モデルを使用した。過年度電波伝搬モデルとして 2 波モデルを用いたが、干渉受信レベルへのハイトパターンの影響を除去するために電波伝搬モデルを変更した。また、干渉波を PPI 画像化する際にも自由空間伝搬モデルによる直接波で計算している。

- 干渉判断基準

被干渉局に対して有害な干渉が発生するか否かは、A/D 変換（以下、「ADC」と記載）において信号飽和をもって判断基準とした。ADC 飽和は、ADC ダイナミックレンジを 80dB と定義し、最小受信レベルから 80dB 以上の干渉受信レベルが発生するか否かで判断する。

- 帯域外抑圧フィルタと ADC 帯域内への折り返し

被干渉局の受信機の帯域外抑圧フィルタとして、-60dB、-80dB 及び一般的な受信機特性である受信フィルタ帯域外の信号を無視できる（ADC 帯域への折り返しを無視できる）レベルのフィルタ抑圧量（例えば-150dB）を適用する。ただし、ADC 帯域内に折り返し回数は 1 回とし、折り返しの際の帯域内信号との波形合成はないものとする。

フィルタ帯域内の干渉レベルとフィルタ帯域外の消え残りレベルのうち、レベルの高い方を干渉波レベルの最大値として取り扱う。

各フィルタ抑圧量は、受信帯域の端から 10MHz 離れた箇所で適用する。

帯域外抑圧フィルタについては「（3）帯域外抑圧フィルタと干渉レベル」に詳細を示す。

- 最小離隔距離

与干渉局と被干渉局間の離隔距離について、上記に記載した抑圧量のフィルタを適用した際の干渉レベルが ADC 飽和レベル以上となる最小距離を最小離隔距離と定義する。

- 干渉時間率

干渉時間率を計算する際のメインローブは 3dB ビーム幅でなく、サイドローブレベル相当に減衰するビーム幅で検討する。このビーム幅ではビーム形状として 2 乗余弦窓の適用を前提とする。

アンテナの仰角を可変できるレーダーの垂直掃引周期は、垂直方向に常時会合が発生している状態を想定する。

被干渉局がパルス圧縮レーダーである場合、干渉として扱われるパルス幅を「干渉パルス幅」と定義する。この「干渉パルス幅」は、「与干渉局側の送信パルス幅時間」＋「被干渉局側の圧縮係数幅時間（＝被干渉局側の送信パルス幅時間）」となる。

- 与干渉局側のアンテナの回転によるアンテナ利得変動

与干渉局におけるアンテナの回転によるアンテナ利得の変動を考慮する。アンテナの水平面パターンデータは、-90°～+90°まで存在するものとし、バックローブなどは与干渉局と被干渉局間の距離が十分離れていることから考慮しない。

図 3-9 に示すように、与干渉局（図中「送信点」と表記、以下「送信点」という）におけるアンテナの輻射面が被干渉局（図中「受信点」と表記、以下「受信点」という）に対して正対している方位を与干渉局から見た相対方位 0°とし、左に 90°回転した方位を-90°、右に 90°回転した方位を+90°とする。

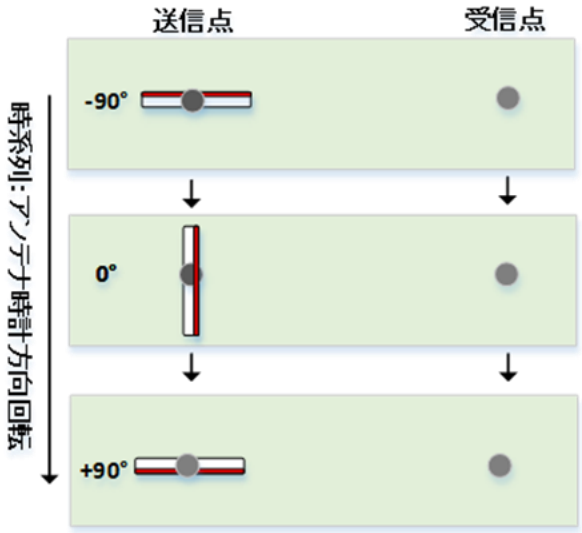


図 3-9 与干渉局のアンテナ回転方位の定義

出所）日本無線作成

- 被干渉局側のアンテナの回転によるアンテナ利得変動

  被干渉局におけるアンテナの回転によるアンテナ利得の変動を考慮する。アンテナは受信点におけるアンテナの輻射面が送信点に対して正対している方位を被干渉局から見た相対方位 0°とし、左に 90°回転した方位を-90°、右に 90°回転した方位を+90°とする（図 3-10 参照）。

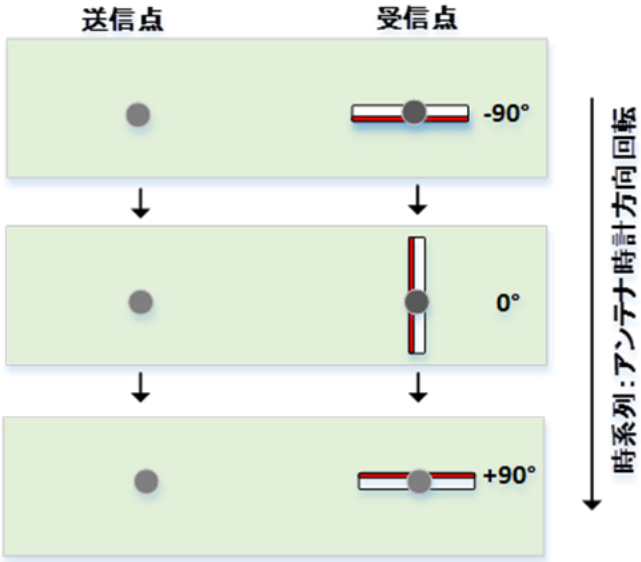


図 3-10 被干渉局のアンテナ回転方位の定義

出所）日本無線作成

上記干渉時間率に示したビーム幅と干渉パルス幅についての考え方を以下に示す。

a. サイドローブ相当に減衰するビーム幅

干渉時間率を計算する際のメインローブは 3dB ビーム幅でなく、サイドローブレベル相当に減衰するビーム幅と定義するため、ビームの形状を推定することが必要である。

複数の代表的な窓関数をフーリエ変換し、サイドローブレベルを算出した。それらの周波数特性を図 3-11 に示す。この結果より各窓関数のサイドローブレベルは次の通りであった。

- 矩形窓:-13.3dB
- ガウス窓:-43.3dB
- 2 乗余弦窓:-31.5dB
- ハミング窓:-42.7dB
- ブラックマン窓:-58.8dB

レーダー製造業者がどの窓関数を採用しているかは不明であるが、2 乗余弦窓もしくは各社これを若干変形(調整)させた窓関数を用いているものと推定する。2 乗余弦窓を想定した場合、メインローブのレベルがサイドローブ相当に低下する幅は 3dB 幅に対して約 2.44 倍広くなる。干渉時間率の計算ではビーム幅を「メインローブのレベルがサイドローブ相当に低下する幅」を用いる。

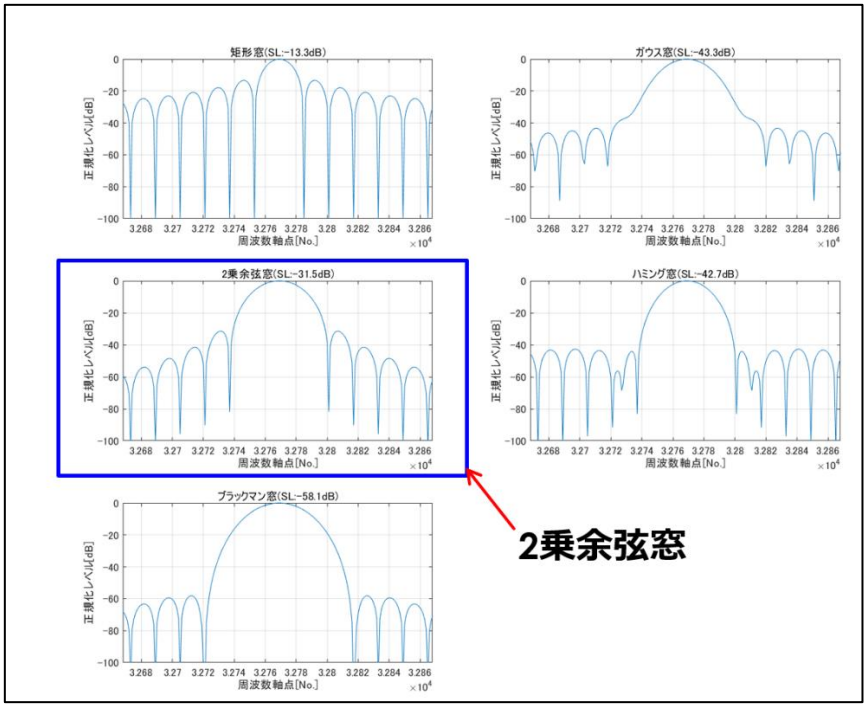


図 3-11 代表的な窓関数の周波数特性

出所)日本無線作成

b. 干渉パルス幅

被干渉局がパルス圧縮レーダーである場合、干渉が生ずる時間は、与干渉局側の送信パルス幅時間に加え、被干渉局側の圧縮係数幅時間を考慮する必要がある。この理由を説明する。

パルス圧縮は図 3-12 のようにトランスバーサルフィルタで表現することができる。

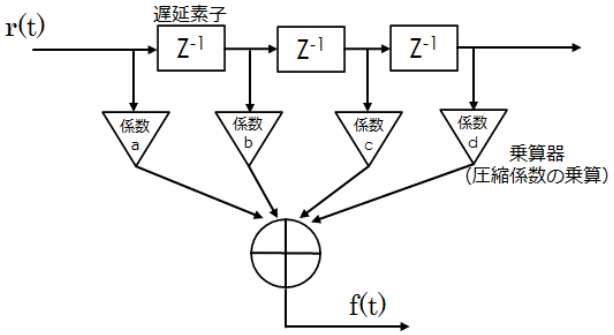


図 3-12 パルス圧縮 原理図

出所)日本無線作成

被干渉局が個数 4 のパルス圧縮係数を持つと仮定する。ここに遅延素子単位時間に相当する信号が1個(1 ステップ)入ってきた時、この信号がフィルタを抜けるまで 5 ステップ必要となる。すなわち、5-1=4 ステップ分の時間が干渉信号 f(t)として被干渉側に表示される。

なお、r(t)として遅延素子単位時間に相当する信号が 10 個入力された場合、フィルタを抜けるまでは 15 ステップとなる。よって、被干渉側で扱われる干渉波のステップ数(時間)は与干渉側信号ステップ数と被干渉側係数ステップ数の合計としてよい。

ここで以下の点に注意が必要である。

① 干渉時間は、このステップ数の合計値より大きくなることはない。

② 1 ステップ＝サンプリング単位時間 と表現できる。

③ 与干渉側信号ステップ数合計時間＝与干渉局送信パルス幅時間

被干渉側係数ステップ数合計時間＝被干渉局送信パルス幅時間

r(t)として D_0 が入力されたとすると出力 f(t)は表 3-6 の通りとなる。フィルタを抜けるまで 5 ステップであり、5 ステップ目以降は出力から、入力信号(干渉波)の影響は完全に消えることがわかる。

表 3-6 パルス圧縮における出力例

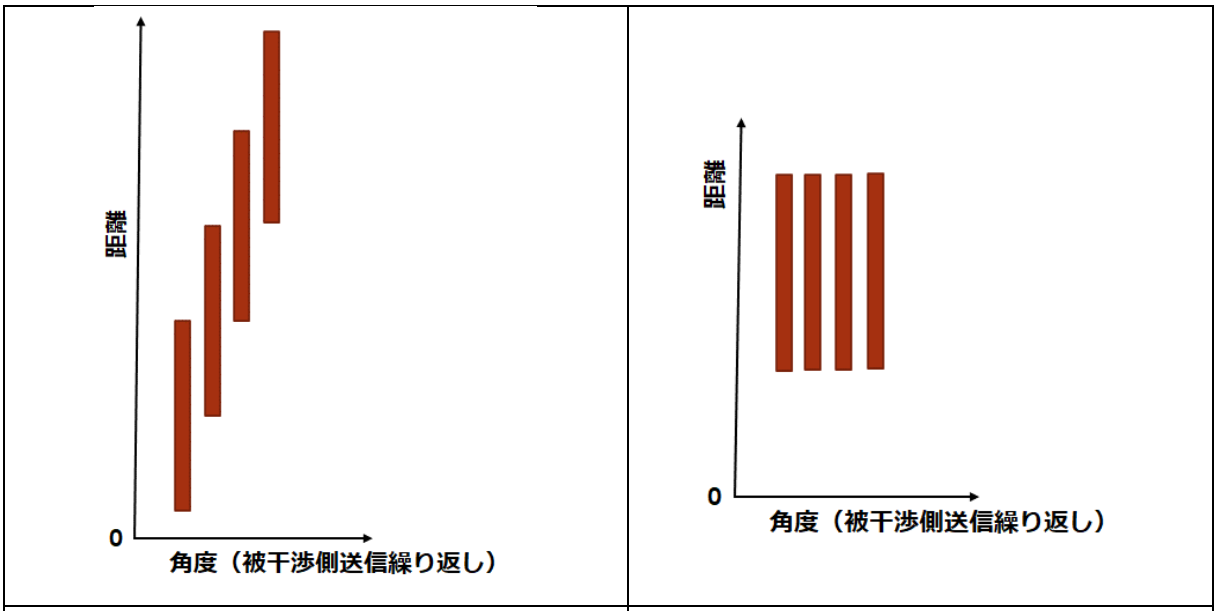
1 ステップ目出力：	D_0×係数 a	＋	0	＋	0	＋	0
2 ステップ目出力：	0	＋	D_0×係数 b	＋	0	＋	0
3 ステップ目出力	0	＋	0	＋	D_0×係数 c	＋	0
4 ステップ目出力：	0	＋	0	＋	0	＋	D_0×係数 d
5 ステップ目出力：	0	＋	0	＋	0	＋	0

なお、「干渉を受けた当該方位の全距離に干渉波が表示される」ように観測される条件についても以下の通りである。分かりやすくするため、下記の図 3-13 はいずれも干渉波同士の間に隙間を入れて表現している。

図 3-13 a)のように与干渉側の送信繰り返しが、被干渉側の送信繰り返しとずれがあり、このずれが隣り合う干渉と距離方向に重なりあうとき、見かけ上、距離方法に長大な干渉波として観測される。

一方、図 3-13 b)のように与干渉側の送信繰り返しが、被干渉側の送信繰り返しと全く同じとき、ある長さの干渉が同一距離に角度方向に連続的に並ぶことにより、PPI 画面で表示した際に扇型状の干渉として観測される。

以上のように、干渉波の画面上での見え方の要因の一つとして、与被干渉局の送信繰り返し周波数が影響を及ぼす。



a)距離方法に長大な干渉波として観測される条件　　b)干渉波が方位方向に長く見える条件

図 3-13 表示上の干渉パターン発生原理(Bスコープイメージ)

出所)日本無線作成

（3） 帯域外抑圧フィルタと干渉レベル

帯域外抑制フィルタ毎の干渉レベルについて説明する。

1） None（フィルタなし）

これは受信した干渉波に対して、帯域制限フィルタを施さない場合である。

干渉レベルの算出に与被干渉局の無線周波数離調の影響を考慮しない。すなわち図 3-14 のように「与干渉局空中線送信電力」と「被干渉局アンテナ利得＋受信系ロス」と「空間伝搬ロス」のみで計算したものに相当する干渉レベルとなる。

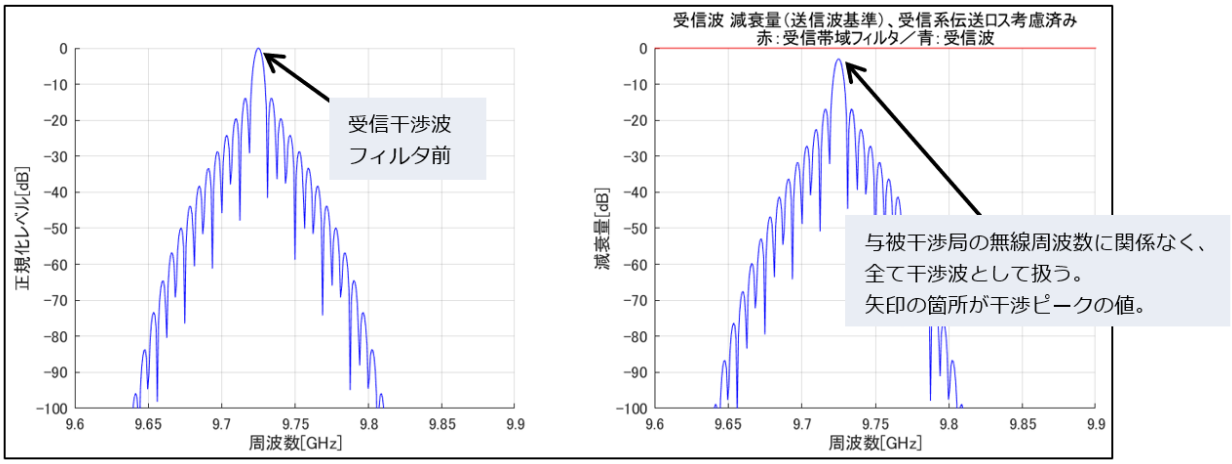


図 3-14 受信帯域フィルタなし例

出所）日本無線作成

2） -60dB／-80dB フィルタ

受信した干渉波に対して、被干渉局の受信帯域諸元から10[MHz]離れた箇所で-60dBまたは-80 dB の減衰とするフィルタである。

図 3-15 及び図 3-16 に示すように干渉レベルの算出に与被干渉局の無線周波数離調の影響は反映されるが、フィルタ帯域外の消し残りのレベル自体はそのまま干渉波として扱う。消し残りが最終的に ADC 帯域に入り込むと仮定している。

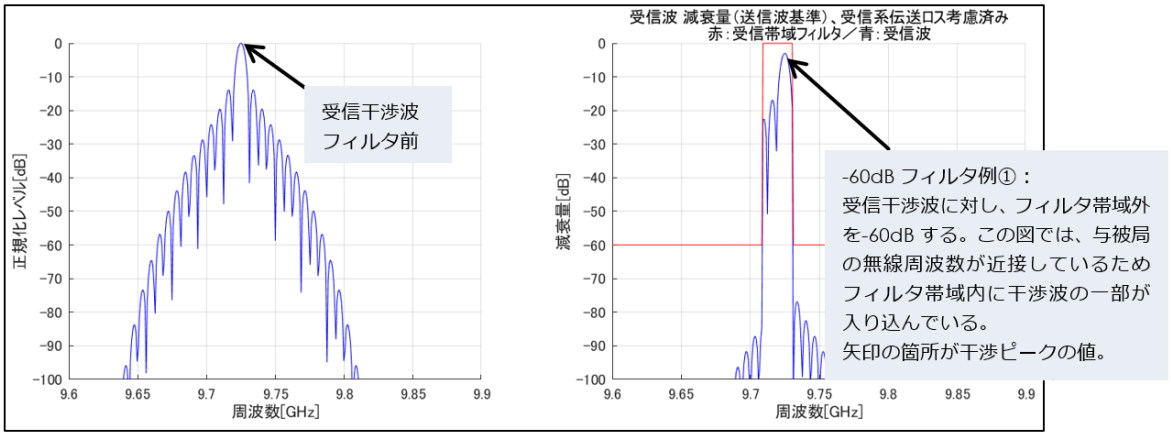


図 3-15 受信帯域フィルタ[-60dB／-80dB]例①

出所)日本無線作成

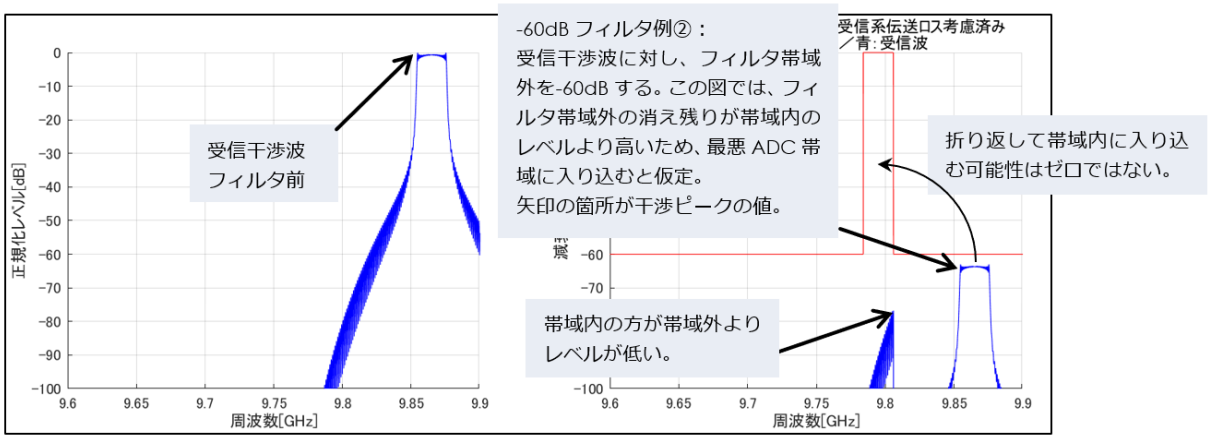


図 3-16 受信帯域フィルタ[-60dB／-80dB]例②

出所)日本無線作成

3） -150dB フィルタ

受信した干渉波に対して、被干渉局の受信帯域諸元から 10[MHz]離れた箇所で-150dB の減衰とするフィルタである。

抑圧量は、フィルタ帯域外の信号の影響を完全に排除するためのレベル(最小受信電力より低くなるレベル)として設定しており、-150[dB][2]は必須ではない。表 3-17 のようにフィルタによる受信帯域外の干渉消し残りが最終的に ADC 帯域に入り込まないものと仮定している。

[2] 航空気象レーダーの検討では最小離隔距離判定値を熱雑音相当の-128dBm とした。これは他のレーダーの-110dBm 相当に比べかなり低い値であることから抑圧量を-200dB とした。

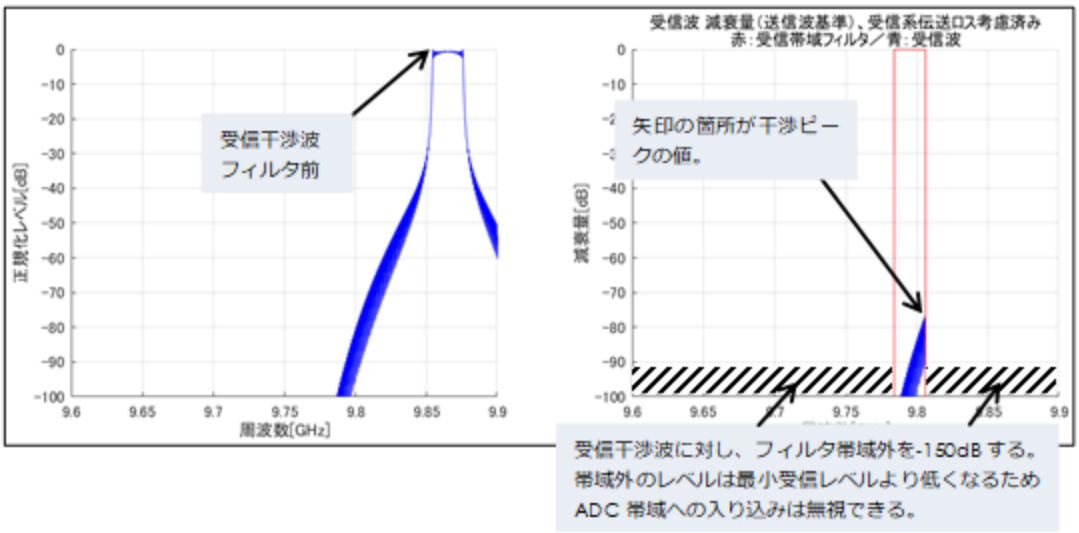


図 3-17 受信帯域フィルタ[-150dB]例

出所）日本無線作成

（4） 干渉シミュレーション実施手順

干渉シミュレーションの実施手順を以下に示す。

a. 送信パルス波形の作成

① 波形は高域での波形減衰に配慮して無線周波数の 5 倍のサンプリング周波数で作成する。ここでは図 3-18 に示す通り、パルス ON の部分のみデータを作成する。

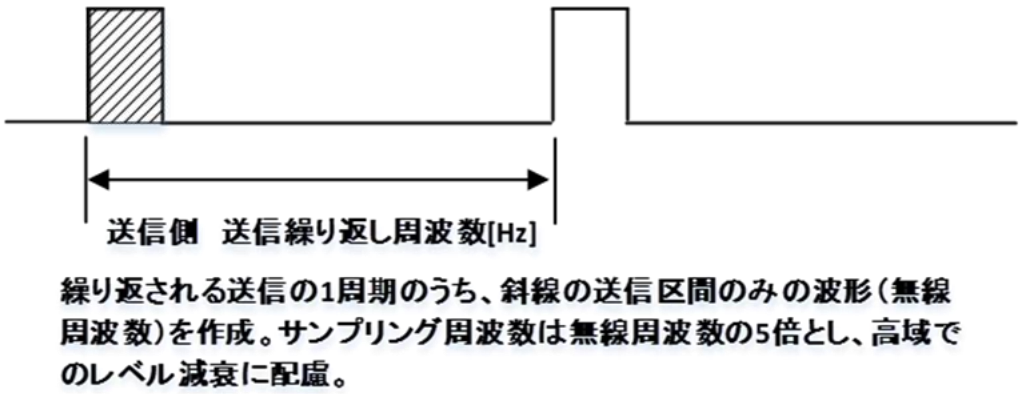


図 3-18 波形作成のイメージ

出所）日本無線作成

② 波形は Q0N 波（チャープ）であればパルス内を線形に周波数偏移させるものとし、P0N であればパルス内を指定無線周波数で固定させる。

③ 上記②で作成したパルスは矩形であり、広帯域の周波数特性を持つため受信側帯域への影響

度を無視できなくなる。よって現実の送信波に近い周波数特性を持つ送信波とするためスプリアスマスク内に収まるようフィルタを設計する。なお、B-40dB 幅は約 200MHz、スロープは-20dB/decade とする。図 3-19 に送信フィルタ例を、図 3-20 にフィルタ通過後の送信波スプリアス特性を示す。

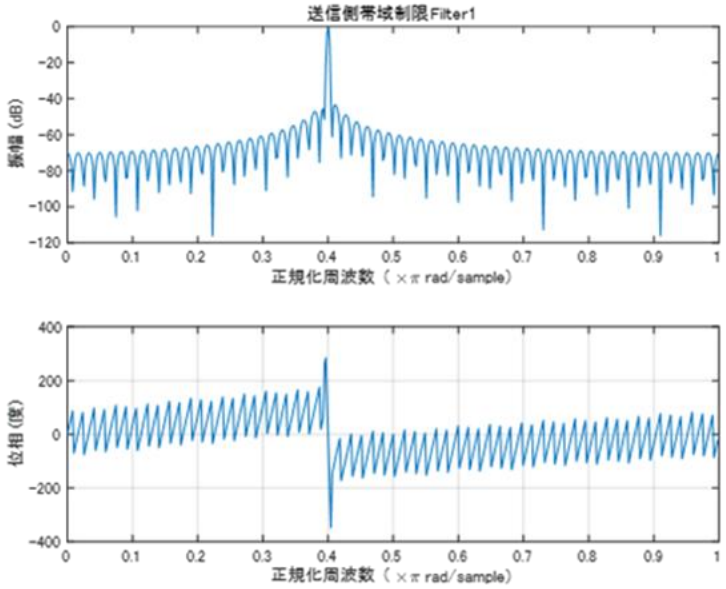


図 3-19 送信波フィルタ例

出所）日本無線作成

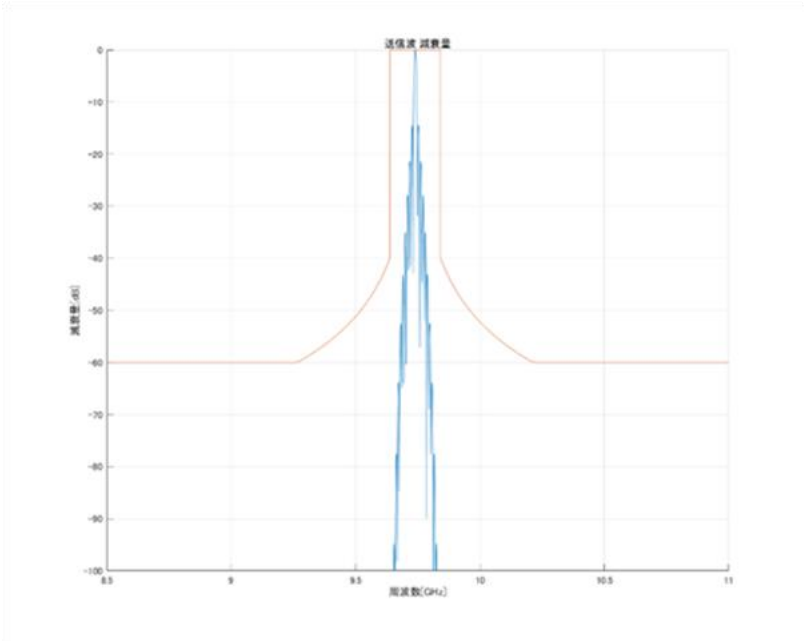


図 3-20 フィルタ通過後の送信波スプリアス特性

出所）日本無線作成

b. 送信パルス波形への受信フィルタの適用

① 指定した受信側帯域に応じてバンドパスフィルタを生成する。フィルタは無線周波数帯にて実施する。受信帯域幅(数 MHz～数十 MHz)は無線周波数に対して極めて狭いため時間軸上での設計が困難となる。よって周波数軸上で矩形のフィルタを施す。なお、矩形でフィルタリングすることに配慮して通過帯域は受信帯域幅の端(上側・下側周波数それぞれ)から+10MHz を確保する。なお、フィルタによる帯域制限と同時に受信側の系(例えば導波管やケーブル)を要因とする損失も加味するものとする。

② 受信フィルタを通過した信号は最終的に包絡線でレーダー画面上に表示されるため、包絡線検波を行う。

③ 包絡線検波を実施した段階では無線周波数帯(GHz 帯)で取り扱っており、これ以降の演算を比較的容易とするためパルス幅に対して可能な範囲でデシメーションをおこない、データ量を削減する。

与干渉局側と被干渉局側の無線周波数を 9,410[MHz]で同一とした場合の送受信特性の例を図 3-21 に、包絡線検波及びデシメーション結果の例を図 3-22 に記載する。

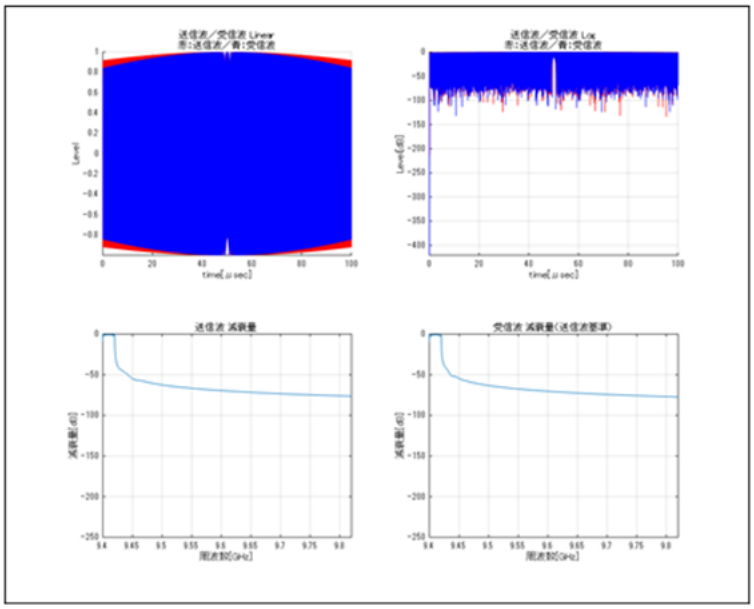


図 3-21 送受が同一無線周波数における送受信特性の例

出所)日本無線作成

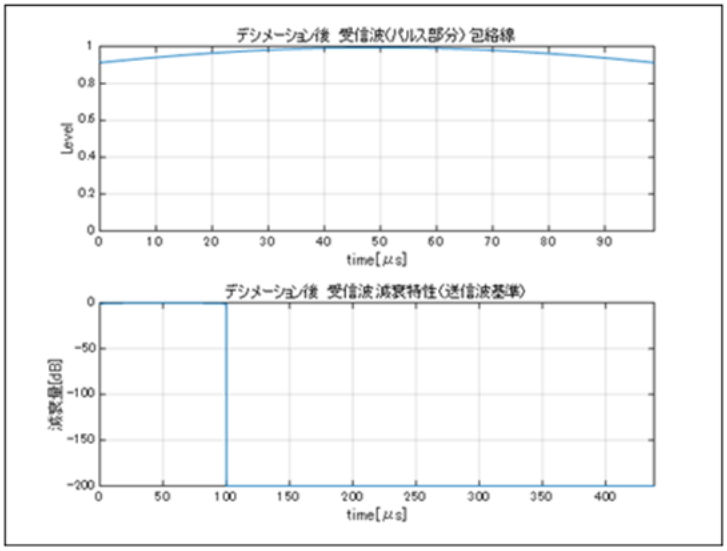


図 3-22 包絡線検波及びデシメーションの例

出所）日本無線作成

与干渉局の無線周波数を 9,410[MHz]、被干渉局の無線周波数を 9,710[MHz]とした場合の送受信特性を図 3-23 に、包絡線検波及びデシメーション結果の例を図 3-24 に記載する。

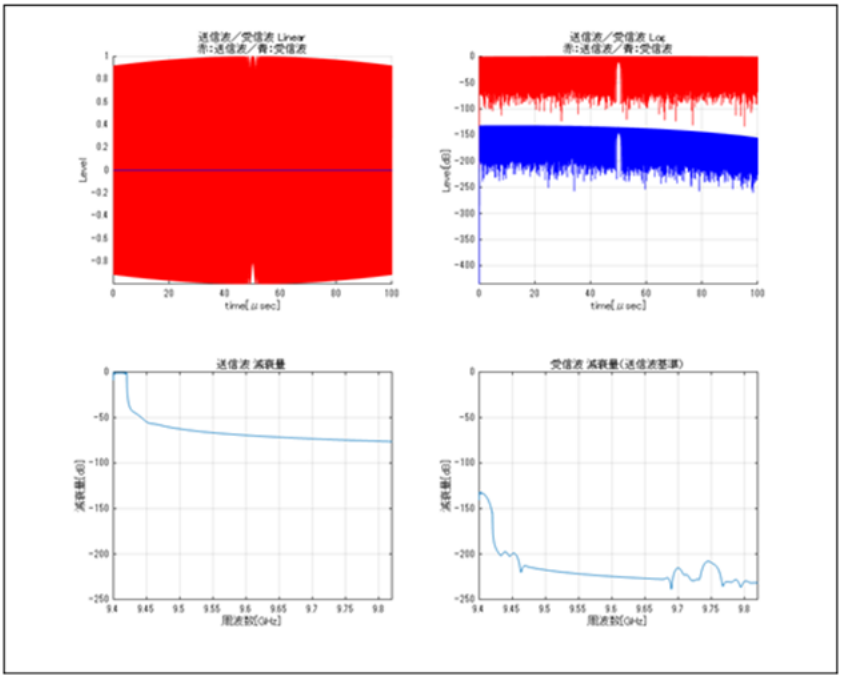


図 3-23 送受が異なる無線周波数における送受信特性

出所）日本無線作成

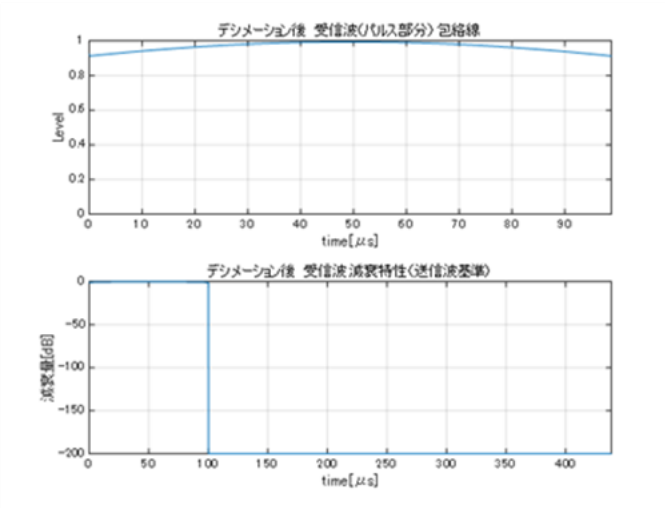


図 3-24 包絡線検波及びデシメーション

出所）日本無線作成

c. アンテナ1回転時間分のパルスデータの作成

① データは送信波を基準値 0[dB]として、この値からの減衰量[dB]で扱う。

② b で得られた受信フィルタ後のデータをパルス ON 区間のデータとする。

③ パルス OFF 区間のデータは干渉として無視可能な程度に十分な減衰量とする。

④ 送信点、受信点の距離を時間に換算し、この時間分ゼロ時間から最初のパルス ON 時間までをオフセットする（図 3-25 参照）。

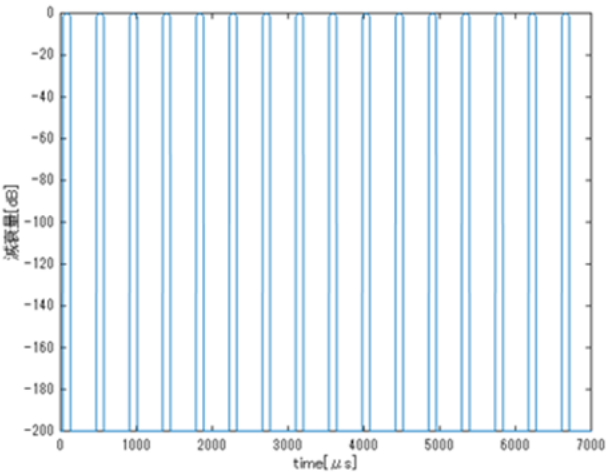


図 3-25 パルスデータ生成イメージ

出所）日本無線作成

d. パルスデータを考慮した受信電力の計算

c で作成したパルスに与干渉局及び被干渉局のアンテナパターン及びアンテナの回転を考慮し、受信電力データを生成する。

e. PPI スコープ画像の作成

① レーダー映像は受信側の送信繰り返し周波数（周期）を基準にしてゼロ距離点から描画される。よって、d で生成したデータを受信側の送信繰り返し周波数（周期）で切り出す。
※実際には、シミュレーション開始時は送受の離隔距離に相当する電波伝搬時間（片道）分オフセットされる。ただし、離隔距離が大きいと広いレンジでの観測が必要となり受信側への影響度が大きい狭パルス（広帯域）の観測が不可能となるため、観測が容易となるよう適宜オフセットを施すものとする。

② 横軸を『受信点における相対方位』、縦軸を『距離』として描画する。

③ 描画における最大レベル。熱雑音に近いレベルの受信波を確認するために最大値を適当な値に設定し表示上ダイナミックレンジを狭める。設定された最大値を超えるデータは設定値にクリッピングされる。表示上の最大値が入力される受信波の最大値ではない。

④ 描画における最小レベル。描画における最小レベルは受信側の最終的な帯域幅を基にした熱雑音レベルとする。これは以下を理由とする。

【上記④の理由】

図 3-26 のように送受の無線周波数と帯域幅を考慮して、送受の使用帯域が重なっていない状態とする。

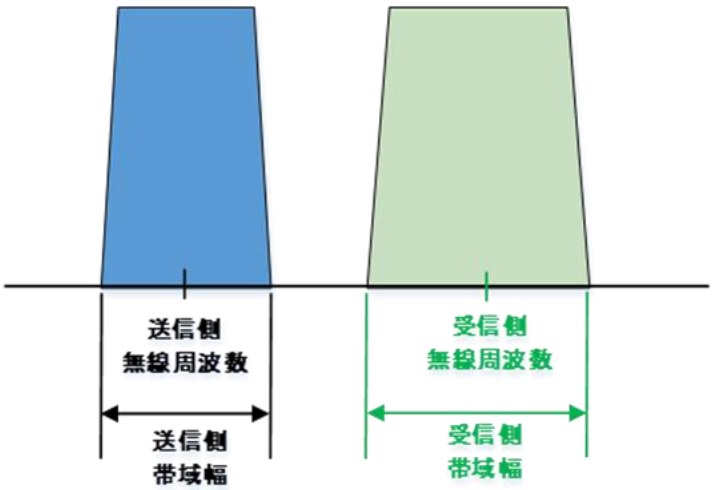


図 3-26 送受の無線周波数帯域イメージ

出所）日本無線作成

上記図 3-26 においては双方の被干渉および与干渉は発生し得ないように見えるが、現実的には、低いレベルで干渉する場合がある。ただし、アンテナ帯域や送信側、受信側ともに RF ミキサに使用する LO 周波数が不明でイメージ周波数の位置がわからないため、現状は受信側について現実に即したシミュレーションを行うことはできない。図 3-27 に電波干渉の系統イメージを示す。

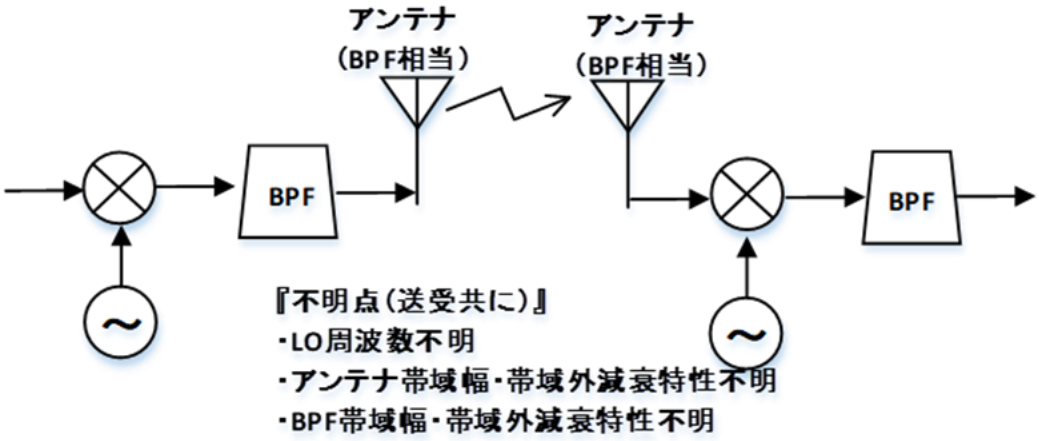


図 3-27 電波干渉の系統イメージ

出所)日本無線作成

例えば図 3-28 のように無線周波数から約 1GHz 離れた位置で-60dBc のフィルタを用意し、-20dBm を受信した場合、10.58GHz の無線周波数にてほぼ約-80dBm の信号としてフィルタを通過することになるが、実際のフィルタ特性に即したものであるかは不明である。-80dBm の信号が最終的にベースバンドの帯域に入るか、あるいはどの程度入るかは各社独自のシステム設計に依存するものである。

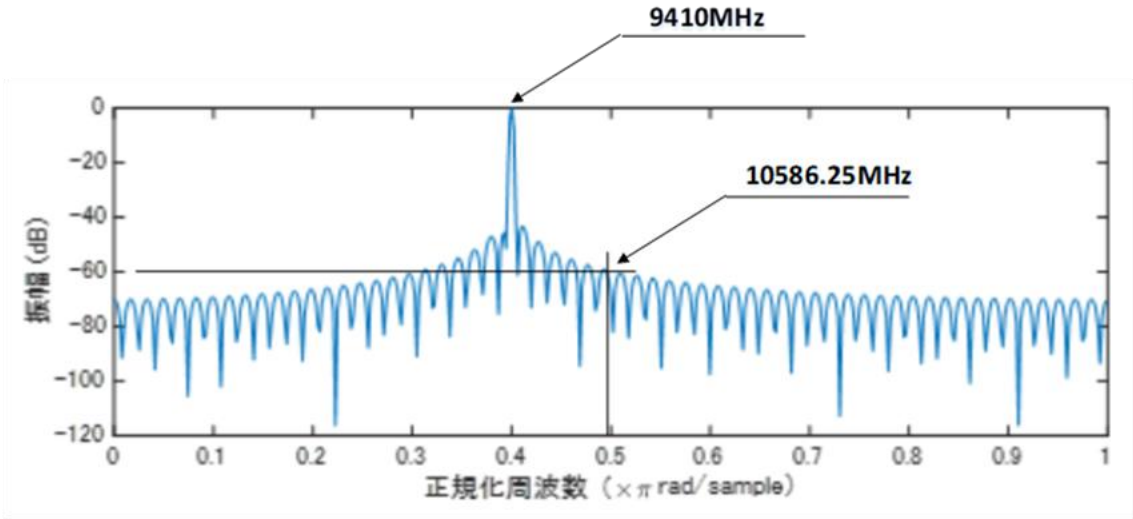


図 3-28 フィルタ例

出所)日本無線作成

上記理由により、厳密に実機を模擬したシミュレーションを実施できないものの、帯域外干渉については十分な抑圧[3]を設けた状態で、熱雑音を上回るか否かを判断基準とした。[4]

[3] 上記のシミュレーション手順に従う場合、『3.2.2(4)b 送信パルス波形への受信フィルタの適用』に記載の通り、周波数軸上にて受信帯域幅から 10MHz 以上離調したデータをシミュレーション上無視できるレベルにまで抑圧することとなる。ただし、今回のシミュレーションでは、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返した際の影響を確認するため-60dB 及び 80dB のフィルタを適用した検討もおこなっている。

[4] 航空気象レーダーについては熱雑音にて判定し、その他の無線システムについては ADC 飽和レベルで判定する。これは、熱

なお、各種利得を考慮した受信電力が熱雑音を上回るか否かを確認するとした場合、以下の点に留意が必要である。

『送受の諸元不一致の場合』

干渉波の受信による処理利得は発生せず、熱雑音を判断条件とすることは最悪条件の確認となり、十分な条件といえる。

『送受の諸元が一致、一部が一致の場合』

- 送受がパルス圧縮処理をおこなっていることで、送信側の周波数変調波を受信側にて受信し相関係数が送信波に適合する場合、パルス圧縮処理によって処理利得が発生する可能性がある。
- 送信繰り返し周波数が完全に一致する場合、方位方向にコヒーレント積分が働き、処理利得が発生する可能性がある。

これら処理利得が発生した場合は、受信した干渉波は熱雑音よりも強く表示されることになる。ただし、このように送受諸元が一致した場合には干渉波自体をパルス圧縮することになり、干渉波自体が変調周波数の逆数のパルス幅となり非常に狭くなる。これによって、指示機上での干渉除去機能が非常に有効に働くため干渉波が受信側に与える影響度自体が非常に小さくなると判断できる。

（5） シミュレーション結果

気象レーダー、船舶航行用レーダー、航空機用気象レーダーを被干渉局として干渉シミュレーションを実施した。

与干渉局である沿岸監視用レーダーの諸元を表 3-7 に示す。まず、令和3年度までの検討とは異なり、与干渉局は運用を想定する無線周波数帯ごとに諸元が異なることに注意が必要である。

また、与干渉局 9,400MHz 帯の諸元は無線設備規則第 48 条と電波法関連審査基準によって制約を受けた性能となる。ここでは EIRP を規制される最大値とし、Q0N 周波数変調幅を 8MHz とした条件から Q0N パルス幅を規定する。

雑音だけで共用可否判定をおこなうと、現実環境での最小離隔距離の状態からかけ離れるため、干渉除去機能・性能を期待した検討をおこなうとしたためである。なお PPI 画像の基底レベルは令和 3 年度までと変わりなく、熱雑音相当としている。

表 3-7 干渉レベル計算諸元 与干渉局

与干渉局 レーダー名	項目	諸元		
		9,800MHz 帯	9,740MHz 帯	9,400MHz 帯
沿岸監視 レーダー （固体化）	無線周波数	P0N:9,835[MHz] Q0N:9,865[MHz]	P0N:9,725[MHz] Q0N:9,755[MHz]	P0N:9,410[MHz] Q0N:9,440[MHz]
	送信電力	700[W]	200[W]	700[W]
	アンテナ利得 （ピーク点）	35[dBi]	同左	29.5[dBi]
	EIRP 計算値	93.5[dBm][5]	88.0[dBm]	88.0[dBm]
	アンテナ水平面 サイドローブレベル	-27[dB]	同左	-29[dB]
	アンテナ水平面 ビーム幅	0.5[°]	同左	0.8[°]
	パルス幅	P0N:0.07[μs] Q0N:30.0[μs] /22[MHz]	P0N:0.16[μs] Q0N:18.3[μs] /22[MHz]	P0N:0.07[μs] Q0N:7.85[μs] /8[MHz]

出所）日本無線作成

干渉時間率の計算ではそれぞれのメインローブ、サイドローブが重なるケースで分類した 4 通りについて検討した（表 3-8 参照）。干渉時間率の計算では、簡易的な計算として 1 時間を基準として計算した干渉の時間的割合を干渉時間率として提示している。

表 3-8 干渉時間率計算の組み合わせ

被干渉局	与干渉局
メインローブ受信	メインローブ送信
サイドローブ受信	メインローブ送信
メインローブ受信	サイドローブ送信
サイドローブ受信	サイドローブ送信

出所）日本無線作成

なお、干渉時間率の検討は、与被局が各 1 局におけるものとしている。現実の環境における干渉時間率は、必要な最小離隔距離より近傍における与干渉局の局数に応じて計算結果に乗算をおこなう必要がある。

[5] 9, 800MHz帯における技術的条件案で提示した EIRP 上限値は92[dBm]。ここでは送信系伝送ロスを加味していないため 1.5dB オーバーするが、結果に大きな差は生じないためこの値を使用する。

1） 気象レーダー

a. 干渉レベル検討

干渉レベル検討として、特定の離隔距離における干渉のレベル及び必要となる最小離隔距離の算出を行った。

ア） 干渉レベル計算用諸元

被干渉局の諸元を表 3-9 に示す。被干渉局（気象レーダー）の無線周波数においては、与干渉局の無線周波数に応じた干渉影響度を明らかにするため、近接する周波数にチャネル設定されていることにも注意が必要である。

なお、今回のシミュレーションでは被干渉局である気象レーダーのアンテナパターンが入手できないこと、PPI 画像化した際に干渉を見やすくするため、被干渉局のアンテナ利得は全方位ピークレベルで固定している。

表 3-9 干渉レベル計算諸元 被干渉局：9,700MHz 帯_気象レーダー

被干渉局 レーダー名	項目	諸元		備考
		与局周波数帯： 9,800MHz 帯のみ	与局周波数帯： 9,800MHz 帯以外	
気象レーダー （固体化）	無線周波数	9,795[MHz]	9,720[MHz]	
	アンテナ利得（ピーク点）	42[dBi]	同左	
	アンテナ水平面 サイドローブレベル	-35[dB]	同左	
	アンテナ水平面ビーム幅	1～2[°]	同左	
	受信帯域 ※フィルタカットオフ周波数含まず	2[MHz]	同左	実際はフィルタカットオフを考慮するため、受信帯域上下に各 10MHz 加算された 22MHz 帯域となる。
	最小受信感度	-110[dBm]	同左	
	受信系ロス	3[dB]	同左	
	離隔距離 （レベル計算用）	7[NM]	同左	

出所）日本無線作成

イ） 干渉レベルシミュレーション結果

与干渉局の周波数が9,400MHz 帯、9,740MHz 帯、9,800MHz 帯のそれぞれの場合について、9,700MHz 帯の周波数を使用する気象レーダーとの干渉シミュレーションを行った。

結果については、令和3年度までに提示した内容に倣い、無線システム間の離隔距離を 7NM（海里）として、被干渉局の受信フィルタの特性毎に算出した干渉レベルを表 3-10 に示す。

また、受信フィルタがない場合（None）と、受信フィルタありの場合について表 3-11[6] に PPI 画像化したものを示す[7]。なお、受信フィルタありでは、一般的な受信機特性として、受信フィルタ帯域外の信

[6] 同心円上に干渉が見えるのは画像として見やすくするために疑似的に与被局の送信繰り返し周波数を同一としているためであり、同心円の幅が広いのは気象レーダー側のアンテナパターンの入手ができなかったため、アンテナ利得を全周でピークレベルとしていることによる。

[7] PPI 図では被干渉局側の処理の影響により距離方向に長大な干渉が生じる状態は生じていない。

号が ADC 帯域内に折り返さない状態を再現した-150dB フィルタと、参考として受信帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返しが発生した状態としての-60dB フィルタについて示す。

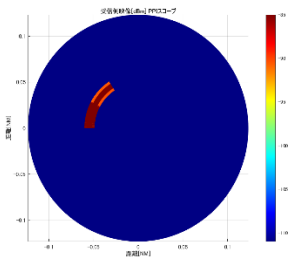
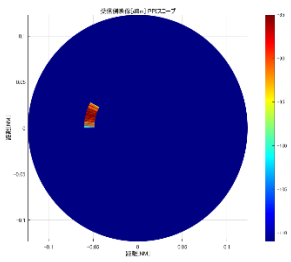
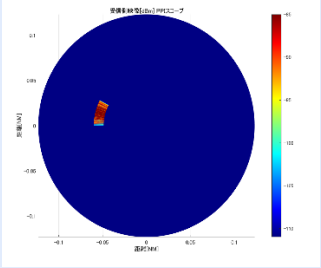
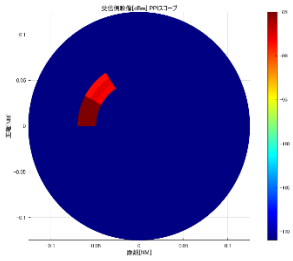
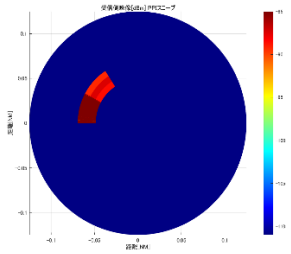
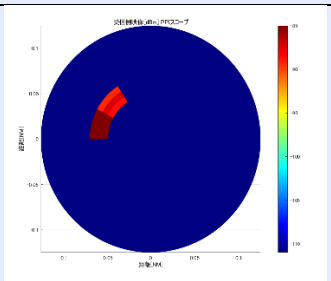
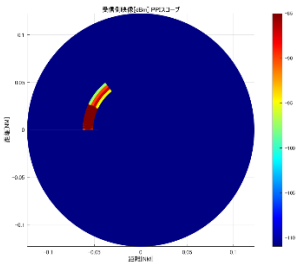
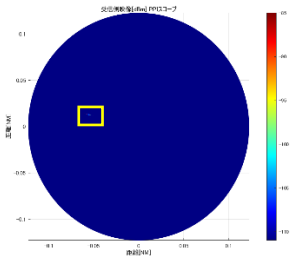
なお上記の離隔距離は、あくまでも現実的に起こり得る設置距離の一例であり、最悪値を示したものではないことに注意が必要である。最小離隔距離は、与被干渉局それぞれのメインローブ、サイドローブが重なるケースで分類した 4 通りで検討をおこない、表 3-12 では最も干渉レベルが高くなるメイン-メイン干渉について最小離隔距離の小さい順にまとめ、表 3-13～表 3-15 では、与干渉局の無線周波数毎にまとめをおこなった。

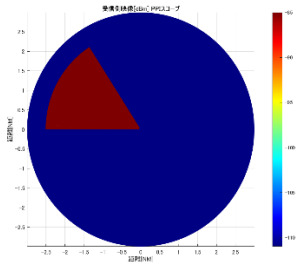
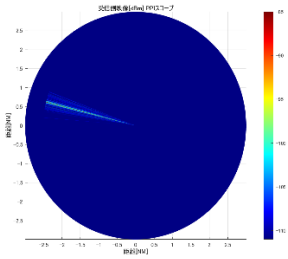
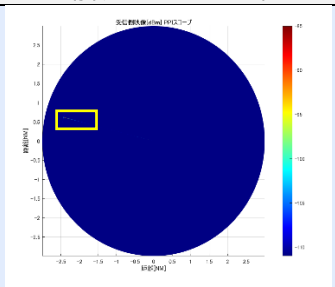
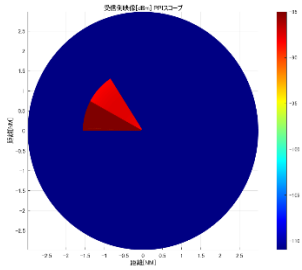
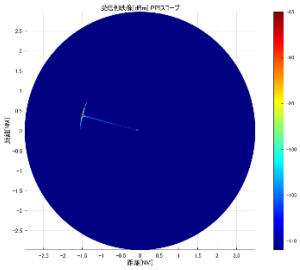
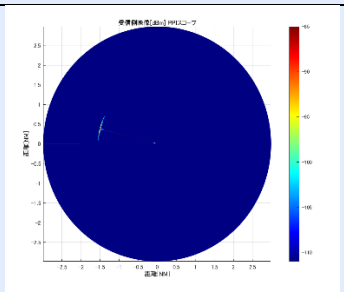
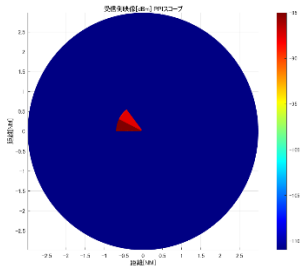
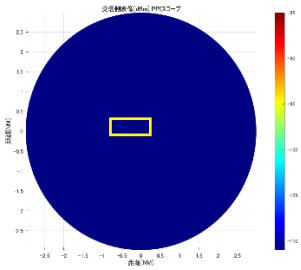
表 3-10 被局:9,700MHz 帯の干渉シミュレーション結果 所定離隔距離における干渉レベル

与局電波型式 P0N/Q0N	与局周波数 [MHz]	被局周波数 [MHz]	離調周波数 [MHz]	離隔距離 [NM]	フィルタ特性ごとの干渉レベル[dBm]			
					None	-60dB	-80dB	-150dB
P0N	9,835	9,795	40	7	-1.7	-33.1	-33.1	-33.1
	9,725	9,720	5	7	-7.3	-7.1	-7.1	-7.1
	9,410		310	7	-7.2	-67.2	-87.2	-157.2
Q0N	9,865	9,795	70	7	-2.1	-61.5	-64.8	-64.9
	9,755	9,720	35	7	-7.5	-41.3	-41.3	-41.3
	9,440		280	7	-7.6	-67.6	-87.6	-157.6

出所）日本無線作成

表 3-11 被局:9,700MHz 帯 気象レーダーの干渉シミュレーション結果 所定離隔距離における PPI 画像

与干渉局 周波数	受信フィルタなし	受信フィルタあり (抑圧量:-60dB)	受信フィルタあり (抑圧量:-150dB)
a)P0N: 9,835MHz (観測レンジ: 0.125NM)	 Max=-1.7dBm	 Max=-33.1dBm	 Max=-33.1dBm
b)P0N: 9,725MHz (観測レンジ: 0.125NM)	 Max=-7.3dBm	 Max=-7.1dBm	 Max=-7.1dBm
c)P0N: 9,410MHz (観測レンジ: 0.125NM)	 Max=-7.2dBm	 Max=-67.2dBm	熱雑音以下 (-157.2dBm)

与干渉局 周波数	受信フィルタなし	受信フィルタあり （抑圧量:-60dB）	受信フィルタあり （抑圧量:-150dB）
d)Q0N: 9,865MHz （観測レンジ: 3NM）	 Max=-2.1dBm	 Max=-67.2dBm	 Max=-87.2dBm
e)Q0N: 9,755MHz （観測レンジ: 3NM）	 Max=-7.5dBm	 Max=-41.3dBm	 Max=-41.3dBm
f)Q0N: 9,440MHz （観測レンジ: 3NM）	 Max=-7.6dBm	 Max=-67.6dBm	熱雑音以下 （-157.6dBm）

出所）日本無線作成

表 3-12 被局:9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(メイン-メイン)離隔距離(小さい順)

与局電波型式 P0N/Q0N	与局周波数 [MHz]	被局周波数 [MHz]	離調周波数 [MHz]	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
				None	-60dB	-80dB	**-150dB**
Q0N	9,440	9,720	280	76.4	0.1	0.0	**0.0**
P0N	9,410	9,720	310	79.3	0.1	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,795	70	100NM 以上	0.2	0.1	**0.1**
Q0N	9,755	9,720	35	76.8	1.9	1.9	**1.9**
P0N	9,835	9,795	40	100NM 以上	4.8	4.8	**4.8**
P0N	9,725	9,720	5	77.9	79.3	79.3	**79.3**

出所)日本無線作成

表 3-13 与局:9,800MHz 帯/被局:9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局電波型式 P0N/Q0N	与局周波数 [MHz]	被局周波数 [MHz]	離調周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	**-150dB**
P0N	9,835	9,795	40	メイン-メイン	100NM 以上	4.8	4.8	**4.8**
P0N	9,835	9,795	40	サイド-メイン	3.2	0.1	0.1	**0.1**
P0N	9,835	9,795	40	メイン-サイド	7.9	0.2	0.2	**0.2**
P0N	9,835	9,795	40	サイド-サイド	0.1	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,795	70	メイン-メイン	100NM 以上	0.2	0.1	**0.1**
Q0N	9,865	9,795	70	サイド-メイン	3.1	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,795	70	メイン-サイド	7.6	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,795	70	サイド-サイド	0.1	0.0	0.0	**0.0**

出所)日本無線作成

表 3-14 与局:9,740MHz 帯/被局:9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局電波型式 P0N/Q0N	与局周波数 [MHz]	被局周波数 [MHz]	離調周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	**-150dB**
P0N	9,725	9,720	5	メイン-メイン	77.9	79.3	79.3	**79.3**
P0N	9,725	9,720	5	サイド-メイン	1.6	1.7	1.7	**1.7**
P0N	9,725	9,720	5	メイン-サイド	4.1	4.2	4.2	**4.2**
P0N	9,725	9,720	5	サイド-サイド	0.1	0.1	0.1	**0.1**
Q0N	9,755	9,720	35	メイン-メイン	76.8	1.9	1.9	**1.9**
Q0N	9,755	9,720	35	サイド-メイン	1.7	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,755	9,720	35	メイン-サイド	4.2	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,755	9,720	35	サイド-サイド	0.1	0.0	0.0	**0.0**

出所)日本無線作成

表 3-15 与局:9,400MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局電波型式 P0N/Q0N	与局周波数 [MHz]	被局周波数 [MHz]	離調周波数 [MHz]	ローブ組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	**-150dB**
P0N	9,410	9,720	310	メイン-メイン	79.3	0.1	0.0	**0.0**
P0N	9,410	9,720	310	サイド-メイン	1.7	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,410	9,720	310	メイン-サイド	4.3	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,410	9,720	310	サイド-サイド	0.1	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,720	280	メイン-メイン	76.4	0.1	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,720	280	サイド-メイン	1.6	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,720	280	メイン-サイド	4.1	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,720	280	サイド-サイド	0.1	0.0	0.0	**0.0**

出所)日本無線作成

b. 干渉時間率検討

ア) 前提条件

気象レーダーとの干渉時間率計算における、与被干渉局周波数の組み合わせを表 3-16 に示す。

表 3-16 被局:9,740MHz 帯_気象レーダーにおける干渉時間率計算の組み合わせ

与干渉局		被干渉局	
レーダー	電波型式	レーダー	電波型式
沿岸監視用	Q0N:9,800MHz 帯	気象用	Q0N:9,700MHz 帯
沿岸監視用	Q0N:9,740MHz 帯	気象用	Q0N:9,700MHz 帯

出所)日本無線作成

ここでは以下を仮定している。

- 被干渉局のアンテナ帯域は与干渉局の送信帯域をカバーしているものとする。[8]
- 与被干渉局は、固定局とする。
- 被干渉局は、垂直(仰角)方向の走査はなく、垂直方向は常時与干渉局に正対しているものとする。
- 被干渉局は、Q0N パルスを使用したパルス圧縮処理が採用されているものとする。

イ) 干渉時間率計算用諸元

気象レーダーに対する干渉時間率計算で使用した諸元を表 3-17 及び表 3-18 に示す。

[8] 厳密には与局パルス帯域に対する被局受信帯域によって、干渉パルス幅の長さは変わってくる。例えば与局 9,800MHz帯を例とすると、30μs・変調幅 22MHz の Q0N リニア変調パルスを想定した場合、帯域 1MHz 当たりのパルス時間は約 1.37μs となる。今被局の受信帯域は 2MHz である場合、理想的には 30μs の送信パルスの内、2.74μs のみが与局からの干渉波として扱われる。ただし、周波数変調がリニアでない場合や帯域内への折り返しの考慮、また変調幅が狭い場合は干渉として扱われる時間が長くなることを考慮し、最悪値として被局は与局パルス幅時間を全て受信するものと仮定する。

表 3-17 与局:9,800MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー 干渉時間率計算用諸元

与被局	レーダー	諸元:干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用	0.5	22	30.0	3,000
被干渉局	気象用	2	3.5	32	－[9]

出所）日本無線作成

表 3-18 与局:9,740MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー 干渉時間率計算用諸元

与被局	レーダー	諸元:干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用	0.5	22	18.3	1,280
被干渉局	気象用	2	3.5	32	－[10]

出所）日本無線作成

ウ） 干渉時間率結果

気象レーダーに対する干渉時間率の結果を表 3-19 及び表 3-20 に記す。なお、結果の導出過程については別途添付資料にて提示する。

表 3-19 与局:9,800MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー
干渉時間率結果（与被局各 1 局）

内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
被干渉局	与干渉局		
メインローブ受信	メインローブ送信	1.433E-05	0.052
サイドローブ受信	メインローブ送信	6.160E-04	2.218
メインローブ受信	サイドローブ送信	2.507E-03	9.025
サイドローブ受信	サイドローブ送信	1.829E-01	658.31

出所）日本無線作成

[9] 干渉時間率の計算上使用しない

[10] 干渉時間率の計算上使用しない

表 3-20 与局:9,740MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_気象レーダー
干渉時間率結果(与被局各 1 局)

内容		干渉時間率 (1 時間中)	干渉時間 (1 時間中) [sec]
被干渉局	与干渉局		
メインローブ受信	メインローブ送信	4.959E-06	0.018
サイドローブ受信	メインローブ送信	2.132E-04	0.768
メインローブ受信	サイドローブ送信	8.678E-04	3.124
サイドローブ受信	サイドローブ送信	6.330E-02	227.87

出所)日本無線作成

c. 考察

① 表 3-12 では一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態を再現した-150dB フィルタにおける離隔距離の小さい順に並べている。与干渉局の周波数帯毎に送信諸元は異なるものの、与被干渉局の離調周波数の大きさと必要な離隔距離がほぼ一致していることが確認できる。完全に一致しない理由は、与干渉局の無線周波数帯毎に EIRP、パルス帯域が異なるためである。また、電波型式(P0N/Q0N)においてもパルス帯域が異なることも要因となっている。

与局電波型式と無線周波数毎の最小離隔距離の順番は以下の通り。左端が最も離隔距離を必要としないことを意味する。

「被局:9,720MHz 及び 9,795MHz」 ※被局 9,795MHz に対する与局は 9,800MHz 帯

{9,440MHz(Q0N) ≒ 9,410MHz(P0N) ≒ 0.1NM} ＜ 9,865MHz(Q0N)
＜ 9,755MHz(Q0N) ＜ 9,835MHz(P0N) ＜ 9,725MHz(P0N)

② ADC 飽和のレベルを基準として最小離隔距離を決定した場合、表 3-13～表 3-15 より、以下のようにまとめることができる。(イ)、(ウ)については干渉時間率の結果も併せて記載する。

(ア) 受信フィルタの特性が-60dB 以上であれば、必要な離隔距離(NM 単位表記にて)には、ほぼ変化はない。

ただし表 3-10 から分かるようにADC飽和で判定せず、単純にある距離におけるレベルのみで判断した場合、帯域外の折り返しを無視できる-150dB フィルタ特性を適用した場合とそれ以外とでは、離調周波数が大きい場合に明確な差が表れている。これは単純に周波数離調することだけが重要でなく、被干渉局側にて適切に受信帯域外の信号を抑圧することが重要であることを示している。

例)与局:9,410MHz／被局:9,720MHz／離隔距離:7NM

■フィルタ特性-60dB／干渉レベル:-87.2dBm

■フィルタ特性-150dB／干渉レベル:-157.2dBm

表 3-9 の諸元から最小受信感度を-110dBm で適用した場合、フィルタ特性-60dB では最小受信感度を超え、フィルタ特性-150dB では下回ることがわかる。よって少なくとも-82.8dB の特性を持つフィルタ、もしくは受信系部品の周波数特性により与局の 9,410MHz に対する感度抑圧を得られない場合、ADC 帯域内に干渉波が入りこむ可能性があり、この場合単純に干渉レベルとしては最小受信感度(ADC 飽和でない)を超えること

となる。

（イ）与干渉局：9,800MHz帯／被干渉局：9,700MHz 帯の場合

表 3-13 より、与干渉局から被干渉局に対して必要となる最小離隔距離は、離調周波数とパルス帯域幅の影響により、Q0N 波に対し P0N 波の影響度がより強く表れており、約 4.8NM である。なお、本シミュレーションでは可能な限り干渉影響度が最悪となるよう矩形上に作成した送信波パルスを帯域制限フィルタに通したものを干渉波として扱っているため、パルス周波数特性の帯域外スロープがゆるやかとなっている。このため、P0N と Q0N の無線周波数の配置をスイッチ（P0N：9,865MHz／Q0N：9,835MHz）した場合においても、ほぼ最小離隔距離には影響がないが、実際の Q0N 波は波形を成形することでスロープを急峻に落とすことができ、これにより被干渉局 9,795MHz に対する干渉度を低減できることが「3.4.2 気象レーダー装置との干渉試験」に記載する試験結果により確認されている。よって、周波数配置のスイッチにより、近接した地域においても与被干渉局は共用が可能であると想定する。

表 3-19 に記した干渉時間率を確認すると、1 時間中のメイン-メイン時間は 0.052 秒となっている。これは離隔距離が、メイン-メイン干渉による ADC 飽和が発生する離隔距離においても 0.052 秒/時の干渉時間を許容できる場合においては、4.8NM の距離を必要としないことを意味する。このメイン-メイン干渉時間が許容可能であるか否かは被干渉局に対する要求性能により異なるため一概に判断できないが、実運用環境にて問題となるケースは限定されると想定する。なお、メイン-メイン時間を除く合計干渉時間は約 670 秒／時と非常に長時間となっているが、最小離隔距離の観点から検討すると 0.2NM 以下の数値となっているため現実の設置環境を考えた場合、このメイン-メイン以外の干渉時間が問題となるケースは極めて限定的であると想定する。ただし、あくまでも ADC 飽和基準により判定した数値であるためメイン-メインによる最小離隔距離とは別の基準値により判定する必要がある条件下においては、別途再検討が必要となることに注意が必要である。

＜備考＞

今回の干渉時間率の計算では、最も条件が悪い与局 Q0N 波（30μs）を被局が全て受信すると仮定した干渉時間で計算している。実際には、表 3-11 の PPI 図 d)の-150dB フィルタが実運用時を想定した状態であるが、図の通り離調効果により与局からの干渉波はほぼカットされることからも、干渉時間自体は計算値より明らかに短くなる。ただし 7NM 離隔した状態での画像であることにおいて注意が必要である。

（ウ）与干渉局：9,740MHz帯／被干渉局：9,700MHz 帯の場合

表 3-14 より、与干渉局から、被干渉局に対して必要となる最小離隔距離は離調周波数が 5MHz であることとパルス帯域幅の影響により、P0N 波で約 79NM となる。これは離隔距離の値のみで判断した場合、近接した地域において共用が極めて困難といえる。

表 3-20 に記した干渉時間率を確認すると、1 時間中のメイン-メイン時間は 0.018 秒とごく短時間となっている。これは離隔距離が、メイン-メイン干渉による ADC 飽和が発生する離隔距離においても 0.018 秒/時の干渉時間を許容できる場合においては、79NM の距離を必要としないことを意味する。このメイン-メイン干渉時間が許容可能であるか否かは被干渉局に対する要求性能により異なるため一概に判断できないが、実運用環境にて問題とな

るケースは、単純に離隔距離の値のみで判断する場合と比較して限定されると想定する。なお、表 3-14 より、メイン-メイン干渉に次ぐ干渉レベルはメイン-サイド干渉であり最小離隔距離は 4.2NM を必要とする。よってメイン-サイド時間である 3.12 秒／時が許容できない場合においては 4.2NM 以上の離隔距離を必要とする。

なお、現実の環境としては、この無線周波数により与被干渉局が共用している場合がある。よって単純な干渉レベルと必要な離隔距離の値以外の観点から、以下のような状況により運用が可能となっているケースを想定した（設置・運用されている全てのケースで問題とならない／なっていないということを示してはいない）。

a　与干渉局である沿岸監視用レーダーは、陸地方向に対して電波を照射しない設定をおこなっているため、この方向に設置されている被干渉局に対しては干渉影響がない。もしくは運用上問題としないレベルで軽微と判断されている可能性がある。

b　与被干渉局間に山・ビル等の構造物が存在し、干渉波を遮っていることで干渉影響がない。もしくは運用上問題ならないレベルで軽微と判断されている可能性がある。

c　P0N 波により必要な離隔距離は約 79NM であるが、Q0N 波による必要な離隔距離は約 1.9NM である。干渉の影響度は干渉レベルだけで判断できず、干渉時間率も同時に考慮する必要がある。現在の干渉時間率は与局が Q0N 波であることを想定した計算であるが、現実の離隔距離環境で P0N 波が干渉の主要因となっているとするならば、P0N 波と Q0N 波のパルス幅比率は、P0N 波は Q0N 波の約 1/15 倍（P0N 波 1.2μs /Q0N 波 18.3μs≒1/15）であり、干渉自体はしているものの影響度が極めて小さいと判断されている可能性がある。すなわち、P0N 波基準で考えるならば離隔距離は約 79NM 必要となるが、干渉の時間率は大幅に低下し（被干渉局がパルス圧縮処理のため単純に 1/15 とはならない）、Q0N 波基準で考えるならば 1.9NM 以上の離隔距離がとられていれば良い事となる。

d　被干渉局の気象レーダーが垂直方向の走査をおこなっている場合、与被干渉局のメインビーム同士が会合するまでの周期が極めて長くなるため、干渉自体はしているものの影響度が極めて小さいと判断されている可能性がある。ただし、垂直方向の走査をおこなわない運用もあることには注意が必要である。

e　与被干渉局のアンテナ設置高及び離隔距離により、被干渉局がハイトパターン上の null 点位置（もしくは周辺位置）に相当することで、干渉波レベルが大きく低下している可能性がある。この点は令和 3 年度報告書の「2.2.2 他の無線システムとの共用可能性-（4）まとめ-1」要件等課題-a.ハイトパターン」に記載している。ハイトパターンを利用して大きく干渉レベルを減衰させることが可能であるといえる。なお両局間が海を挟む場合、潮位によりハイトパターンが変化することには注意が必要である。

以上を総合的に考慮すると、現実的な環境においては 5MHz 程度の周波数離調では近接した地域における共用は非常に困難であるものの、与被干渉局の設置状況（ハイトパターンによる干渉レベル減衰）や運用形態の把握と調整（被干渉局側に電波を放射しない設定やアンテナ回転数の同期性をはずすことによる干渉時間率の低減など）及び両局間に存在する構造物（干渉波の遮蔽）の環境によっては共用の可能性があると想定する。

なお、今回の干渉時間率の計算では、最も条件が悪い与局 Q0N 波(18.3μs)を被局が全て受信すると仮定した干渉時間で計算している。実際には、表 3-11 の PPI 図 e)の-150dB フィルタが実運用時を想定した状態であるが、図の通り離調効果により与局からの干渉波はほぼカットされることからも、干渉時間自体は計算値より明らかに短くなる。ただし7NM 離隔した状態での画像であることは注意が必要である。

(エ)与干渉局:9,400MHz帯/被干渉局:9,720MHz の場合

表 3-15 より、与干渉局から、被干渉局に対して必要となる最小離隔距離は、帯域外の信号が被干渉局側に折り返す最悪条件を加味した場合においても P0N 波、Q0N 波ともに約 0.1NM であり、ごく軽微な影響である。よって、-60dB 程度のフィルタ特性が適用される場合において、与干渉局の運用は問題とならないと想定する。

2) 船舶航行用レーダー

a. 干渉レベル検討

ア) 干渉レベル計算用諸元

干渉検討にあたり表 3-21 の諸元を用いた。

表 3-21 干渉レベル計算諸元 被干渉局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダー

被干渉局 レーダー名	項目	諸元	備考
船舶レーダー (固体化)	無線周波数	9,410[MHz]	
	アンテナ利得(ピーク点)	30[dBi]	
	アンテナ水平面 サイドローブレベル	-29[dB]	
	アンテナ水平面ビーム幅	0.8[°]	
	受信帯域 ※フィルタカットオフ周波数含まず	20[MHz]	実際はフィルタカットオフを考慮するため、受信帯域上下に各 10MHz 加算された 40MHz 帯域となる。
	最小受信感度	-93[dBm]	
	受信系ロス	1[dB]	
	離隔距離(レベル計算用)	0.5[NM]	

出所)日本無線作成

イ) 干渉シミュレーション結果

結果については、令和3年度までに提示していたものと同様に無線システム間の離隔距離を 0.5NM(海里)として、被干渉局の受信フィルタの特性毎に算出した干渉レベルを表 3-22 に示す。

また、受信フィルタがない場合(None)と、受信フィルタありの場合について表 3-22[11]にPPI画像化

[11] 同心円上に干渉が見えるのは画像として見やすくするために疑似的に与被局の送信繰り返し周波数を同一としているためであり、同心円の幅が広いのは気象レーダー側のアンテナパターンの入手ができなかったため、アンテナ利得を全周でピークレベルとしていることによる。また、被干渉局が気象レーダーの際と比較しやすいよう、ここでの船舶航行用レーダーのアンテナ回転数は一般的な諸元とは異なる 3.5rpm で PPI を描画

したものを示す[12]。なお、受信フィルタありでは、一般的な受信機特性として、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態を再現した-150dB フィルタと、参考として受信帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返しが発生した状態としての-60dB フィルタについて示す。

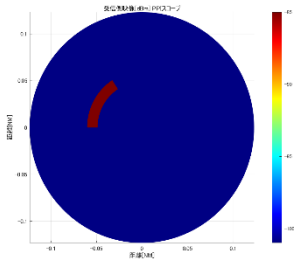
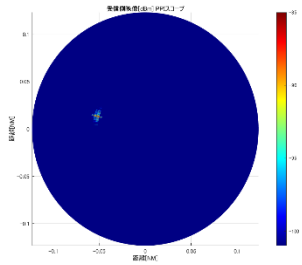
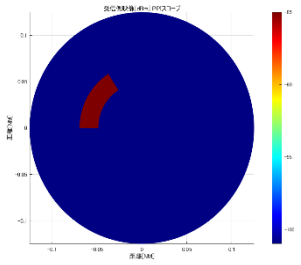
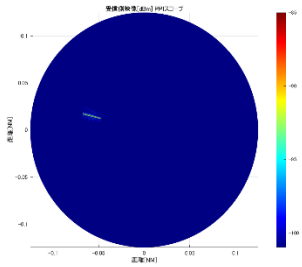
なお、上記の離隔距離はあくまでも現実的に起こり得る設置距離の一例であり最悪値を示したものではないことに注意が必要である。最小離隔距離は、与被干渉局それぞれのメインローブ、サイドローブが重なるケースで分類した 4 通りで検討をおこない、表 3-24 では最も干渉レベルが高くなるメイン-メイン干渉について最小離隔距離の小さい順にまとめ、表 3-25～表 3-27 では、与干渉局の無線周波数毎にまとめた。

表 3-22 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果
所定離隔距離における干渉レベル

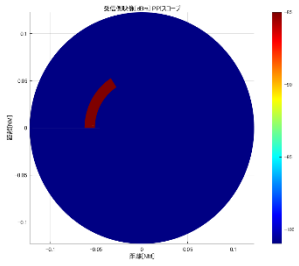
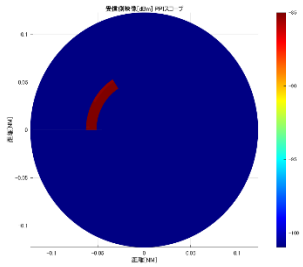
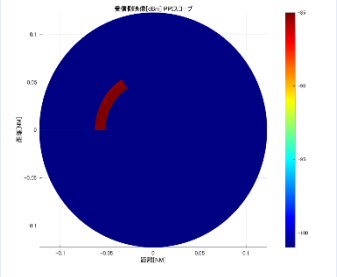
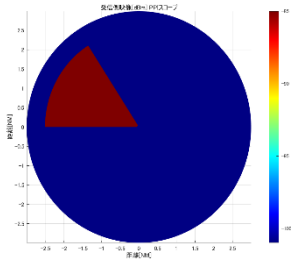
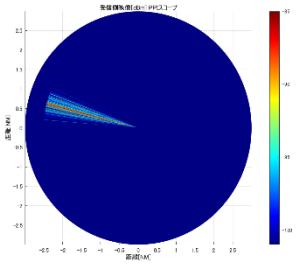
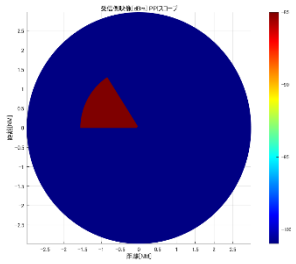
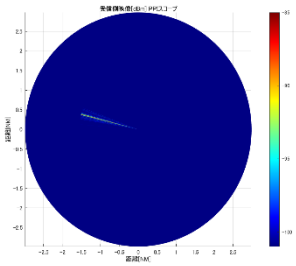
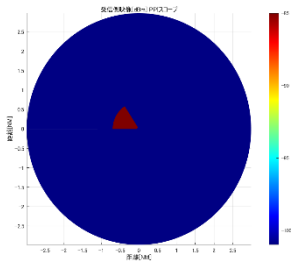
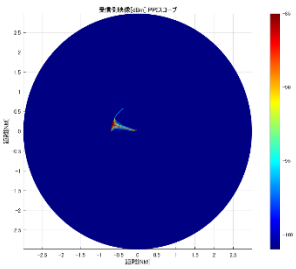
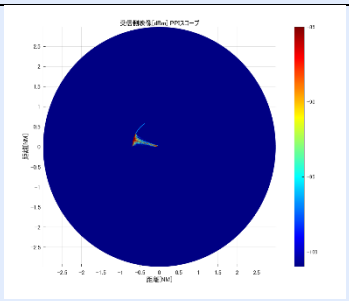
与局電波型式 P0N/Q0N	与局周波数 [MHz]	被局周波数 [MHz]	離調周波数 [MHz]	離隔距離 [NM]	フィルタ特性ごとの干渉レベル[dBm]			
					None	-60dB	-80dB	-150dB
P0N	9,835	9,410	425	0.5	11.6	-48.4	-68.4	-138.4
	9,725		315	0.5	5.9	-54.1	-74.1	-144.1
	9,410		0	0.5	6.0	6.1	6.1	6.1
Q0N	9,865	9,410	455	0.5	11.2	-48.8	-68.8	-138.8
	9,755		345	0.5	5.7	-54.3	-74.3	-144.3
	9,440		30	0.5	5.6	-16.6	-16.6	-16.6

出所）日本無線作成

表 3-23 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果
所定離隔距離における PPI 画像

与干渉局 周波数	受信フィルタなし	受信フィルタあり (抑圧量:-60dB)	受信フィルタあり (抑圧量:-150dB)
a)P0N: 9,835MHz (レンジ: 0.125NM)	 Max=+11.6dBm	 Max=-48.4dBm	熱雑音以下 (-138.4dBm)
b)P0N: 9,725MHz (レンジ: 0.125NM)	 Max=+5.9dBm	 Max=-54.1dBm	熱雑音以下 (-144.1dBm)

[12] PPI 図では被干渉局側の処理の影響により距離方向に引き延ばされる状態は再現していない。

与干渉局 周波数	受信フィルタなし	受信フィルタあり （抑圧量:-60dB）	受信フィルタあり （抑圧量:-150dB）
c)P0N: 9,410MHz （レンジ: 0.125NM）	 Max=-+6.0dBm	 Max=+6.1dBm	 Max=+6.1dBm
d)Q0N: 9,865MHz （レンジ: 3NM）	 Max=+11.2dBm	 Max=-48.4dBm	熱雑音以下 （-138.8dBm）
e)Q0N: 9,755MHz （レンジ: 3NM）	 Max=+5.7dBm	 Max=-54.3dBm	熱雑音以下 （-144.3dBm）
f)Q0N: 9,440MHz （レンジ: 3NM）	 Max=+5.6dBm	 Max=-16.6dBm	 Max=-16.6dBm

出所）日本無線作成

表 3-24 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離（メイン-メイン）離隔距離小さい順

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
				None	-60dB	-80dB	**-150dB**
Q0N	9,755	9,410	345	4.3	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,725	9,410	315	4.3	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,410	455	7.9	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,835	9,410	425	8.2	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,410	30	4.2	0.3	0.3	**0.3**
P0N	9,410	9,410	0	4.4	4.5	4.5	**4.5**

出所）日本無線作成

表 3-25 与局:9,800MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	**-150dB**
P0N	9,835	9,410	425	メイン-メイン	8.2	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,835	9,410	425	サイド-メイン	0.3	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,835	9,410	425	メイン-サイド	0.4	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,835	9,410	425	サイド-サイド	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,410	455	メイン-メイン	7.9	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,410	455	サイド-メイン	0.3	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,410	455	メイン-サイド	0.4	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,865	9,410	455	サイド-サイド	0.0	0.0	0.0	**0.0**

出所)日本無線作成

表 3-26 与局:9,740MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	**-150dB**
P0N	9,725	9,410	315	メイン-メイン	4.3	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,725	9,410	315	サイド-メイン	0.2	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,725	9,410	315	メイン-サイド	0.2	0.0	0.0	**0.0**
P0N	9,725	9,410	315	サイド-サイド	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,755	9,410	345	メイン-メイン	4.3	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,755	9,410	345	サイド-メイン	0.2	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,755	9,410	345	メイン-サイド	0.2	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,755	9,410	345	サイド-サイド	0.0	0.0	0.0	**0.0**

出所)日本無線作成

表 3-27 与局:9,400MHz 帯／被局:9,700MHz 帯_船舶航行用レーダーの干渉シミュレーション結果
ADC 飽和基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	**-150dB**
P0N	9,410	9,410	0	メイン-メイン	4.4	4.5	4.5	**4.5**
P0N	9,410	9,410	0	サイド-メイン	0.2	0.2	0.2	**0.2**
P0N	9,410	9,410	0	メイン-サイド	0.2	0.2	0.2	**0.2**
P0N	9,410	9,410	0	サイド-サイド	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,410	30	メイン-メイン	4.2	0.3	0.3	**0.3**
Q0N	9,440	9,410	30	サイド-メイン	0.2	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,410	30	メイン-サイド	0.2	0.0	0.0	**0.0**
Q0N	9,440	9,410	30	サイド-サイド	0.0	0.0	0.0	**0.0**

出所)日本無線作成

b. 干渉時間率検討

ア) 前提条件

与干渉局を沿岸監視用レーダー、被干渉局を船舶航行用レーダーとしたときの干渉時間率を計算し

た。干渉時間率計算の組み合わせを表 3-28 に示す。

表 3-28 被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダーにおける干渉時間率計算の組み合わせ

与干渉局		被干渉局	
レーダー	電波型式	レーダー	電波型式
沿岸監視用	Q0N:9,400MHz 帯	船舶用	Q0N:9,400MHz 帯

出所)日本無線作成

ここでは以下を仮定している。

- 被干渉局が搭載された船舶は、船首回頭しておらず、停泊もしくは与干渉局に対して鉛直方向にのみ移動しているものとする。
- 9,400MHz 帯では、無線設備規則第 48 条に適合するレーダー同士の干渉時間率を計算するものとする。なお、アンテナは 9ft でなく、よりビーム幅が広く時間率的に不利な 6ft とする。
- 使用する諸元のパルス幅に関しては最小離隔距離の計算において規定した諸元条件を、干渉時間率の計算においても適用する。※諸元を変えた場合、最小離隔距離と干渉時間率を併せて考えることができなくなるため。
- 与局送信繰り返し周波数は、無線設備規則第 48 条による規制を準拠するよう、送信電力、パルス幅、Q0N 掃引周波数に対する規制とも両立するように決定する。
- 与被干渉局は同一諸元のレーダーであり、最悪条件として双方のメインローブ同士が会合している状態からアンテナを回転させ始めるものとする。これはアンテナ回転数が同一のため、会合しない状態からアンテナを回転させはじめるとメイン-メイン干渉自体が発生しなくなるためである。

イ) 干渉時間率計算用諸元

船舶航行用レーダーに対する干渉時間率計算で使用した諸元を表 3-29 に示す。

表 3-29 与局:9,400MHz 帯/被局:9,400MHz 帯_船舶航行用レーダー
干渉時間率計算用諸元

与被局	レーダー	諸元:干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用(固体化)	1.2(6ft 相当)	24	7.85	1,045
被干渉局	船舶用(固体化)	同上	同上	同上	—[13]

出所)日本無線作成

ウ) 干渉時間率結果

船舶航行用レーダーに対する干渉時間率の結果を表 3-30 に記す。なお、結果の導出過程について

[13] 干渉時間率の計算上使用しない

は別途添付資料にて提示する。

表 3-30 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯 船舶航行用レーダー
干渉時間率結果(与被局各 1 局)

内容		干渉時間率 (1 時間中)	干渉時間 (1 時間中) [sec]
被干渉局	与干渉局		
メインローブ受信	メインローブ送信	1.334E-04	0.480
サイドローブ受信	メインローブ送信	0	0.000
メインローブ受信	サイドローブ送信	0	0.000
サイドローブ受信	サイドローブ送信	1.627E-02	58.58

出所)日本無線作成

c. 考察

① 表 3-24 では一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態を再現した-150dB フィルタにおける離隔距離の小さい順に並べている。与干渉局の周波数帯毎に送信諸元は異なるものの、与被干渉局の離調周波数の大きさと必要な離隔距離がほぼ一致していることが確認できる。完全に一致しない理由は、与干渉局の無線周波数帯毎に EIRP、パルス帯域が異なるためである。また、電波型式(P0N/Q0N)においてもパルス帯域が異なることも要因となっている。

以下、与局電波型式と無線周波数毎の最小離隔距離の順番。左端が最も離隔距離を必要としないことを意味する。

「被局:9,410MHz」

{9,755MHz(Q0N) ≒ 9,725MHz(P0N) ≒ 9,865MHz(Q0N)
≒ 9,835MHz(P0N) ≒ 0.0NM} < 9,440MHz(Q0N)< 9,410MHz(P0N)

② ADC 飽和のレベルを基準として必要な離隔距離を決定した場合、以下のようにまとめることができる。(エ)については干渉時間率の結果も併せて記載する。

(ア) 受信フィルタの特性が-60dB 以上であれば、必要な離隔距離には、ほぼ変化はない。

ただし表 3-24 から分かるようにADC飽和で判定せず、単純にある距離におけるレベルのみで判断した場合、帯域外の折り返しを無視できる-150dB フィルタ特性を適用した場合とそれ以外とでは、離調周波数が大きい場合に明確な差が表れている。これは単純に周波数離調することだけが重要でなく、被干渉局側にて適切に受信帯域外の信号を抑圧することが重要であることを示している。

例)与局:9,835MHz／被局:9,410MHz／離隔距離:0.5NM

■フィルタ特性-60dB／干渉レベル:-48.4dBm

■フィルタ特性-150dB／干渉レベル:-138.4dBm

表 3-21 の諸元から最小受信感度-93dBm で適用する場合、フィルタ特性-60dB では最小受信感度を超え、フィルタ特性-150dB では下回ることがわかる。よって少なくとも-84.6dB の特性を持つフィルタ、もしくは受信系部品の周波数特性により与局の 9,835MHz に対する感度抑圧を得られない場合、ADC 帯域内に干渉波が入りこむ可能性があり、この場合単純に干渉レベルとしては最小受信感度を超えることとなる。

（イ）与干渉局：9,800MHz帯／被干渉局：9,400MHz 帯の場合

表 3-25 より、ADC飽和を基準とした最小離隔距離で判定するならば、被干渉局は与干渉局の無線周波数 9,800MHz 帯からの干渉影響を考慮する必要はない。

（ウ）与干渉局：9,740MHz帯／被干渉局：9,400MHz 帯の場合

表 3-26 より、ADC飽和を基準とした最小離隔距離で判定するならば、被干渉局は与干渉局の無線周波数 9,740MHz 帯からの干渉影響を考慮する必要はない。

（エ）与干渉局：9,400MHz帯／被干渉局：9,400MHz 帯の場合

表 3-27 より、与干渉局から、被干渉局に対して必要となる最小離隔距離は離調周波数が 0MHz であるため、P0N 波で約4. 5NM となる。

ここで表 3-12 の 9,700MHz 帯気象レーダーの必要となる最小離隔結果においては、5MHz 離隔距離において約 79NM の最小離隔距離が必要であったが、船舶航行用レーダーでは同じ ADC 飽和（ダイナミックレンジ 80dB）条件にて約 4.5NM となる。これは、与被干渉局ともに無線設備規則第 48 条で規制された性能となっており、与干渉局の EIRP（アンテナ利得＋送信電力）が低く制限されていること、被干渉局も同様にアンテナ利得が制限されていることと（気象レーダーと比較し、与被干渉局の合計 17.4dB の利得低下）で、被干渉局の受信帯域が広いために最小受信電力が-93dBm（気象レーダーと比較し、干渉閾値が 17dB のレベル上昇）なっていることに起因する。ただし単純に干渉レベルから判定した、この約 4.5NM の最小離隔距離については、沿岸を監視する用途で設置されるレーダーと船舶航海用レーダーの最悪距離を 0.5NM 程度と仮定した場合、共用が極めて困難といえる。

次に表 3-30 に記した干渉時間率を確認すると、1 時間中のメイン-メイン時間は 0.48 秒と気象レーダー（与干渉局：9,740MHz）のメイン-メイン時間 0.018 秒／時と比較し、大きな値となっている。ただし、これは前提に記載の通り、被干渉局である船舶航行用レーダーの移動が与干渉局に対して鉛直方向にのみ移動し、更に与被干渉局のアンテナ回転数が完全に一致し、且つ双方のアンテナのメインローブを会合させた状態から同時に回転させた場合の最悪値となっている。表 3-30 のサイド-メイン、メイン-サイドの干渉時間率がゼロとなっている理由はこれに起因するが、このことは逆にアンテナ会合条件のみを変更し、会合していない状態から回転が開始した場合においては、メイン-メイン時間はゼロとなることを示している。また船首の回頭を含む、移動方向の条件のみを変更し、船首回頭する、もしくは移動が鉛直方向でなければ、会合周期ずれが発生することでメイン-メイン時間が低下することを示している。よってメイン-メイン時間が 0.48 秒／時はこの条件自体が極めてまれなケースであろうことが想定される。

なお本シミュレーションにおける与干渉局の諸元は船舶航行用レーダーの諸元と同等となるため、船舶同士の運用状況に置き換えることができる。船舶同士においては、同一無線周波数のレーダーが輻輳海域にて共用している現実からもドップラ速度等の計測用途に類する気象レーダーと異なり、ユーザ自身が PPI 映像から他船を含む周囲の状況を判断する船舶航行用レーダーにおいては、干渉波の消え残りについて気象レーダーと比較して要求性能が実質的に緩和される傾向にあることが想定される。また船舶航行用レーダーにおいては、海面反射などアンテナ回転毎にランダムに発生するクラッタを抑圧する機能（スキャン間相関

処理）が搭載されており、これが干渉除去機能でPPI画面上から除去しきれなかった干渉波の抑圧にも有効に働いていることが想定される。

以上のことから船舶航行用レーダーに対する干渉影響度は、単純に最小離隔距離のみでなく、現実的な干渉時間率（会合ずれによるメイン-メイン時間が発生しない時間率）、干渉除去機能及び干渉除去自体を目的としないが処理結果として干渉が抑圧される機能により、近接した地域（海域）においても共用は可能であると想定される。

3） 航空機用気象レーダー

a. 干渉レベル検討

干渉レベル検討として、必要となる最小離隔距離（以下、“最小離隔距離”と記載）の算出をおこなった。なおこれ以降、航空機搭載用気象レーダーを「航空気象レーダー」と記載する。

ア） 干渉レベル計算用諸元

干渉レベルの検討にあたり表 3-31～表 3-32 の諸元を用いた。ここで航空気象レーダーに対する干渉影響度は与干渉局（9,400MHz 帯）から被干渉局（9,400MHz 帯）に対する同一無線周波数帯における直接的な影響と、与干渉局（9,740MHz 帯・9,800MHz 帯）の被干渉局とは異なる無線周波数帯からの帯域外スロープの影響度を確認するため、よりこれらの周波数帯に近い被干渉局（9,500MHz 帯）についての両面から検討をおこなった。与干渉局の送信諸元については、他の周波数帯の被干渉局と同様に、運用を想定する無線周波数帯ごとに諸元が異なることに注意が必要である。

なお、今回のシミュレーションでは被干渉局である航空気象レーダーとの一般的な離隔距離を規定することが困難であるため PPI 画像化はおこなわず、最小離隔距離の数値のみで検討するものとする。

航空気象レーダーは干渉除去機能や周波数チャネル変更による干渉回避機能を所有しない場合がある。よって、必要となる最小離隔距離の判定は及びに記載の最小受信感度-128dBm とする。

表 3-31 レベル計算諸元 被干渉局：9,400MHz 帯_航空気象レーダー

レーダー名	項目	諸元	備考
航空機搭載用 気象レーダー	無線周波数	9,405[MHz]	
	アンテナ利得（ピーク点）	31[dBi]	
	アンテナ水平面 サイドローブレベル	-25[dB]	
	アンテナ水平面ビーム幅	10[°]	
	受信帯域 ※フィルタカットオフ周波数含まず	2[MHz]	実際はフィルタカットオフを考慮するため、受信帯域上下に各 10MHz 加算された 22MHz 帯域となる。
	最小受信感度	-128[dBm]	
	受信系ロス	1[dB]	
	離隔距離（レベル計算用）	—[14]	

出所）日本無線作成

[14] 航空気象レーダーについては所定の離隔距離における干渉レベル判定はおこなわず、必要となる離隔距離のみを計算する。

表 3-32 レベル計算諸元 被干渉局:9,500MHz 帯_航空気象レーダー

レーダー名	項目	諸元	備考
航空機搭載用 気象レーダー	無線周波数	9,500[MHz]	
	アンテナ利得(ピーク点)	31[dBi]	
	アンテナ水平面 サイドローブレベル	-25[dB]	
	アンテナ水平面ビーム幅	10[°]	
	受信帯域 ※フィルタカットオフ周波数含まず	2[MHz]	実際はフィルタカットオフを考慮するため、受信帯域上下に各 10MHz 加算された 22MHz 帯域となる。
	最小受信感度	-128[dBm]	
	受信系ロス	1[dB]	
	離隔距離(レベル計算用)	—[15]	

出所)日本無線作成

イ) 干渉レベルシミュレーション結果

結果については、被干渉局の無線周波数が 9,400MHz 帯と 9,500MHz 帯における最小離隔距離の検討をおこなった。9,400MHz 帯の検討結果については下記の①に示し、9,400MHz 帯の検討結果については下記の②に示す。

また検討は、受信フィルタがない場合(None)と、受信フィルタありの場合についておこなった。受信フィルタありでは、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態を再現した-200dB フィルタ[16]と、参考として受信帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返しが発生した状態としての(-60dB/-80dB フィルタ)について検討した。

最小離隔距離は、与被干渉局それぞれのメインローブ、サイドローブが重なるケースで分類した 4 通りで検討をおこなった。

9,400MHz 帯では表 3-33 で干渉レベルが高くなるメイン-メイン干渉について最小離隔距離の小さい順(-200dB フィルタによる)にまとめ、表 3-34～表 3-36 では、与干渉局の無線周波数毎にまとめた。

9,500MHz 帯では表 3-37 で干渉レベルが高くなるメイン-メイン干渉について最小離隔距離の小さい順(-200dB フィルタによる)にまとめ、表 3-38～表 3-40 では、与干渉局の無線周波数毎にまとめた。

[15] 航空気象レーダーについては所定の離隔距離における干渉レベル判定はおこなわず、必要となる離隔距離のみを計算する。
[16] シミュレーション手順としては-150dB としているが、航空気象の最小感度レベルが-128dBm と極めて低いため、-150dB では帯域外信号の折り返しレベルを無視できない。よって-200dB フィルタを適用した。

① 干渉レベルシミュレーション結果 被局:9,400MHz 帯

表 3-33 被局:9,400[MHz]帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の必要となる最小離隔距離(メイン-メイン)離隔距離小さい順

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
				None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,725	9,405	320	200NM 以上	200NM 以上	173.5	0.0
Q0N	9,755	9,405	350	200NM 以上	200NM 以上	175.0	0.0
P0N	9,835	9,405	430	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
Q0N	9,865	9,405	460	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
P0N	9,410	9,405	5	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
Q0N	9,440	9,405	35	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上

出所)日本無線作成

表 3-34 与局:9,800MHz 帯/被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,835	9,405	430	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
P0N	9,835	9,405	430	サイド-メイン	200NM 以上	185.7	27.8	0.0
P0N	9,835	9,405	430	メイン-サイド	200NM 以上	158.3	22.4	0.0
P0N	9,835	9,405	430	サイド-サイド	200NM 以上	12.9	1.3	0.0
Q0N	9,865	9,405	460	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
Q0N	9,865	9,405	460	サイド-メイン	200NM 以上	180.5	26.7	0.0
Q0N	9,865	9,405	460	メイン-サイド	200NM 以上	153.6	21.5	0.0
Q0N	9,865	9,405	460	サイド-サイド	200NM 以上	12.4	1.3	0.0

出所)日本無線作成

表 3-35 与局:9,740MHz 帯/被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,725	9,405	320	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	173.5	0.0
P0N	9,725	9,405	320	サイド-メイン	200NM 以上	113.7	14.6	0.0
P0N	9,725	9,405	320	メイン-サイド	200NM 以上	94.8	11.7	0.0
P0N	9,725	9,405	320	サイド-サイド	200NM 以上	6.7	0.7	0.0
Q0N	9,755	9,405	350	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	175.0	0.0
Q0N	9,755	9,405	350	サイド-メイン	200NM 以上	114.8	14.8	0.0
Q0N	9,755	9,405	350	メイン-サイド	200NM 以上	95.7	11.9	0.0
Q0N	9,755	9,405	350	サイド-サイド	200NM 以上	6.8	0.7	0.0

出所)日本無線作成

表 3-36 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,410	9,405	5	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
P0N	9,410	9,405	5	サイド-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
P0N	9,410	9,405	5	メイン-サイド	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
P0N	9,410	9,405	5	サイド-サイド	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
Q0N	9,440	9,405	35	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
Q0N	9,440	9,405	35	サイド-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
Q0N	9,440	9,405	35	メイン-サイド	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
Q0N	9,440	9,405	35	サイド-サイド	200NM 以上	117.7	117.6	117.6

出所)日本無線作成

② 干渉レベルシミュレーション結果 被局:9,500MHz 帯

表 3-37 被局:9,500[MHz]帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の必要となる最小離隔距離(メイン-メイン)離隔距離小さい順

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
				None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,725	9,500	225	200NM 以上	200NM 以上	172.3	0.0
Q0N	9,755	9,500	255	200NM 以上	200NM 以上	173.8	0.0
P0N	9,835	9,500	335	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
Q0N	9,865	9,500	365	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
P0N	9,410	9,500	90	200NM 以上	200NM 以上	179.2	43.4
Q0N	9,440	9,500	60	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上

出所)日本無線作成

表 3-38 与局:9,800MHz 帯／被局:9,500MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,835	9,500	335	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
P0N	9,835	9,500	335	サイド-メイン	200NM 以上	184.5	27.6	0.0
P0N	9,835	9,500	335	メイン-サイド	200NM 以上	157.1	22.2	0.0
P0N	9,835	9,500	335	サイド-サイド	200NM 以上	12.8	1.3	0.0
Q0N	9,865	9,500	365	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	0.0
Q0N	9,865	9,500	365	サイド-メイン	200NM 以上	179.2	26.5	0.0
Q0N	9,865	9,500	365	メイン-サイド	200NM 以上	152.5	21.3	0.0
Q0N	9,865	9,500	365	サイド-サイド	200NM 以上	12.3	1.3	0.0

出所)日本無線作成

表 3-39 与局:9,740MHz 帯／被局:9,500MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,725	9,500	225	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	172.3	0.0
P0N	9,725	9,500	225	サイド-メイン	200NM 以上	112.8	14.5	0.0
P0N	9,725	9,500	225	メイン-サイド	200NM 以上	94.0	11.6	0.0
P0N	9,725	9,500	225	サイド-サイド	200NM 以上	6.6	0.7	0.0
Q0N	9,755	9,500	255	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	173.8	0.0
Q0N	9,755	9,500	255	サイド-メイン	200NM 以上	113.9	14.7	0.0
Q0N	9,755	9,500	255	メイン-サイド	200NM 以上	95.0	11.7	0.0
Q0N	9,755	9,500	255	サイド-サイド	200NM 以上	6.7	0.7	0.0

出所)日本無線作成

表 3-40 与局:9,400MHz 帯／被局:9,500MHz 帯_航空気象レーダーの干渉シミュレーション結果
最小受信感度基準の最小離隔距離(ローブ組み合わせ)

与局 電波型式 P0N/Q0N	与局 周波数 [MHz]	被局 周波数 [MHz]	離調 周波数 [MHz]	ローブ 組み合わせ	フィルタ特性ごとの離隔距離[NM]			
					None	-60dB	-80dB	-200dB
P0N	9,410	9,500	90	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	179.2	43.4
P0N	9,410	9,500	90	サイド-メイン	200NM 以上	116.9	15.3	2.7
P0N	9,410	9,500	90	メイン-サイド	200NM 以上	97.5	12.3	2.2
P0N	9,410	9,500	90	サイド-サイド	200NM 以上	6.9	0.7	0.1
Q0N	9,440	9,500	60	メイン-メイン	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上	200NM 以上
Q0N	9,440	9,500	60	サイド-メイン	200NM 以上	200NM 以上	190.0	189.9
Q0N	9,440	9,500	60	メイン-サイド	200NM 以上	171.4	162.1	162.0
Q0N	9,440	9,500	60	サイド-サイド	200NM 以上	14.4	13.3	13.3

出所)日本無線作成

b. 干渉時間率検討

ア) 前提条件

与干渉局を沿岸監視用レーダー、被干渉局を航空気象レーダーとしたときの干渉時間率を計算した。時間率はそれぞれのメインローブ、サイドローブが重なるケースで分類した 4 通りについて検討した。また航空機が離着陸する空港は沿岸監視用レーダーが設置される港湾に近接していること、航空機の飛行高度は周辺構造物より高く、構造物による電波の遮蔽効果が期待できないことから羽田空港・東京湾エリアを例として与干渉局を 4 局[17]とした干渉時間率も示す。

ここでは以下を仮定している。

- 干渉時間率の計算結果は、与被局が各 1 局を基準とし、与局 4 局・被局 1 局について計算する。
- 干渉時間率の計算は、同一帯域もしくは近接帯域のレーダーとの組み合わせのみで実施する。

[17] 現時点での東京湾エリアにおける 9,400MHz 帯沿岸監視用レーダーの設置局数は 3 局。沿岸監視用途でのレーダー設置台数は、急増・過密することはない。よって今後の増加分を 1 局と想定し、計 4 局とした。

これは、表 3-33、表 3-37 に示す干渉レベルシミュレーション（メイン-メイン）結果より、被干渉局が 9,400MHz 帯・9,500MHz 帯に関わらず、帯域外の干渉が帯域内に折り返さない適切な設計をされていることを前提とした場合、最小離隔距離は約 0.0NM となり、無視できる距離であることを根拠とする。なお航空気象レーダーにおける干渉時間率計算の与被干渉局周波数の組み合わせは、表 3-41 の通りとする。

表 3-41 被局：9,400MHz 帯_航空気象レーダーにおける干渉時間率計算の組み合わせ

与干渉局		被干渉局	
レーダー	電波型式	レーダー	電波型式
沿岸監視用	Q0N：9,400MHz 帯	航空気象用	Q7N[18]：9,400MHz 帯

出所）日本無線作成

- 被干渉局のアンテナ帯域は与干渉局の送信帯域をカバーしているものとする。[19]
- 被干渉局が搭載された航空機は、与干渉局に対して鉛直方向にのみ移動しているものとする。
- 9,400MHz 帯では、無線設備規則第 48 条に適合する与干渉局からの干渉時間率を計算するものとする。なお、アンテナは 9ft でなく、よりビーム幅が広く時間率的に不利な 6ft とする。
- 使用する諸元のパルス幅に関しては最小離隔距離の計算において規定した諸元条件を、干渉時間率の計算においても適用する。※諸元を変えた場合、最小離隔距離と干渉時間率を併せて考えることができなくなるため。
- 与局送信繰り返し周波数は、無線設備規則第 48 条による規制を準拠するよう、送信電力、パルス幅、Q0N 掃引周波数に対する規制とも両立するように決定する。
- 被干渉局は最悪条件として、現在航空気象レーダーとして 1 局存在する電波型式に合わせ Q7N 波を扱うものとする。時間率の計算方法は Q0N パルス圧縮方式と同一とする。

イ） 干渉時間率計算用諸元

航空気象レーダーに対する干渉時間率を求めるうえでの諸元は表 3-42 の通りとする。

[18] 干渉時間率の計算方法は Q0N と同一とする。

[19] 厳密には与局パルス帯域に対する被局受信帯域によって、干渉パルス幅の長さは変わってくる。例えば与局 9,400MHz帯を例とすると、7.85μs・変調幅 8MHz の Q0N リニア変調パルスを想定した場合、帯域 1MHz 当たりのパルス時間は約 0.98μs となる。今被局の受信帯域は 2MHz とした場合、理想的には 7.85μs の送信パルスの内、1.96μs のみが与局からの干渉波として扱われる。ただし、周波数変調がリニアでない場合や帯域内への折り返しの考慮、また変調幅が狭い場合は干渉として扱われる時間が長くなることを考慮し、最悪値として被局は与局パルス幅時間を全て受信するものと仮定する。

表 3-42 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯･9,500MHz 帯_航空気象レーダー
干渉時間率計算用諸元

与被局	レーダー	諸元:干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用	1.2（6ft 相当）	24	7.85	1,045
被干渉局	航空気象用	10°	±60°/4.9 秒（往復）	28.8[20]	－[21]

出所）日本無線作成

ウ） 干渉時間率結果

航空気象レーダーに対する干渉時間率の結果を表 3-43（与局:1 局／被局:1 局）、表 3-44（与局:4 局／被局:1 局）に示す。

なお、結果の導出過程については別途添付資料にて提示する。

表 3-43 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯･9,500MHz 帯_航空気象レーダー
干渉時間率結果（与局:1 局／被局:1 局）

内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
被干渉局	与干渉局		
メインローブ受信	メインローブ送信	6.490E-06	0.023
サイドローブ受信	メインローブ送信	3.050E-04	1.098
メインローブ受信	サイドローブ送信	7.781E-03	28.012
サイドローブ受信	サイドローブ送信	3.021E-02	108.744

出所）日本無線作成

表 3-44 与局:9,400MHz 帯／被局:9,400MHz 帯･9,500MHz 帯_航空気象レーダー
干渉時間率結果（与局:4 局／被局:1 局）

内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
被干渉局	与干渉局		
メインローブ受信	メインローブ送信	2.596E-05	0.093
サイドローブ受信	メインローブ送信	1.220E-03	4.392
メインローブ受信	サイドローブ送信	3.112E-02	112.047
サイドローブ受信	サイドローブ送信	1.208E-01	434.977

出所）日本無線作成

[20] 航空気象の電波型式は P0N のため、計算上は使用しない。参考値として記載。
[21] 現時点で電波型式 Q7N の航空気象レーダーが 1 局ある。パルス幅は同一か不明であるが気レ X6-6 に記載された P0N パルス幅から引用。

c. 考察

① 表 3-33(被局:9,400MHz 帯)、表 3-37(被局:9,500MHz 帯)では、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態を再現した-200dB フィルタ[22]における離隔距離の小さい順に並べている。与干渉局の周波数帯毎に送信諸元は異なるものの、与被干渉局の離調周波数の大きさと必要な離隔距離がほぼ一致していることが確認できる。完全に一致しない理由は、与干渉局の無線周波数帯毎に EIRP、パルス帯域が異なるためである。また、電波型式(P0N/Q0N)においてもパルス帯域が異なることも要因となっている。

以下、与局電波型式と無線周波数毎の最小離隔距離の順番を示す。左端が最も離隔距離を必要としないことを意味する。

「被局:9,405MHz」 ※-200dB フィルタ適用での順番

{9,725MHz(P0N)≒ 9,755MHz(Q0N)≒ 9,835MHz(P0N)
≒ 9,865MHz(Q0N)}< {9,410MHz(P0N)、9,440MHz(Q0N)ともに 200NM 以上}

「被局:9,500MHz」 ※-200dB フィルタ適用での順番

{9,725MHz(P0N)≒ 9,755MHz(Q0N)≒ 9,835MHz(P0N)
≒ 9,865MHz(Q0N)}< 9,410MHz(P0N)< 9,440MHz(Q0N) 200NM 以上

② 最小受信感度-128dBm を基準として必要な離隔距離を決定した場合、以下のようにまとめることができる。(オ)、(ク)については干渉時間率の結果も併せて記載する。

(ア) メイン-メイン干渉の最小離隔距離を示した表 3-33 及び表 3-37 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態(-200dB フィルタにより再現)であれば、与干渉局 9,800MHz 帯、9,740MHz 帯からの干渉波は、被干渉局が 9,400MHz 帯、9,500MHz帯に関わらず無視できる。与干渉局 9,400MHz 帯からの干渉波については、被干渉局が 9,400MHz 帯、9,500MHz帯に関わらず最小離隔距離 200NM 以上を必要とする。

(イ) メイン-メイン干渉の最小離隔距離を示した表 3-33 及び表 3-37 より、受信フィルタの帯域外信号が ADC 帯域内に折り返してしまう場合、-60dB のフィルタでは被干渉局が 9,400MHz 帯、9,500MHz帯に関わらず、与干渉局の 9,800MHz 帯、9,740MHz 帯、9,400MHz 帯の干渉波に対して、最小離隔距離 200NM 以上を必要とする。

(ウ) 与干渉局:9,800MHz帯/被干渉局:9,400MHz 帯の場合

表 3-34 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態(-200dB)であれば、被干渉局は与干渉局の無線周波数 9,800MHz 帯からの干渉影響を考慮する必要はない。

受信機の特性として帯域外信号がADC帯域内に折り返してしまう場合、-60dB フィルタではサイド-サイド干渉レベルであっても約 13NM の最小離隔距離が必要であり、空港及びこれに隣接する港湾(沿岸監視用レーダーの設置場所)の環境を考慮した場合、被干渉局への干渉影響度は無視できない。

---

[22] 他の無線機における並べ変えでは-60dB フィルタの値により並べ替えをおこなっているが、航空気象では受信感度が極めて高く、最小離隔距離が軒並み 200NM を超えることから、並べ替えが不可のため。

(エ) 与干渉局:9,740MHz帯／被干渉局:9,400MHz 帯の場合

表 3-35 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態(-200dB)であれば、被干渉局は与干渉局の無線周波数 9,740MHz 帯からの干渉影響を考慮する必要はない。

受信機の特性として帯域外信号がADC帯域内に折り返してしまう場合、-60dB フィルタではサイド-サイド干渉レベルであっても約 7NM の最小離隔距離が必要であり、空港及びこれに隣接する港湾(沿岸監視用レーダーの設置場所)の環境を考慮した場合、被干渉局への干渉影響度は無視できない。

(オ) 与干渉局:9,400MHz帯／被干渉局:9,400MHz 帯の場合

表 3-36 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態(-200dB)であっても、与干渉局 Q0N 波のサイド-サイド以外の最小離隔距離は 200NM 以上(370km 以上)を必要とし、空港及びこれに隣接する港湾(沿岸監視用レーダーの設置場所)の環境を考慮した場合、被干渉局への干渉影響度は無視できない。

次に干渉時間率の観点から検討した場合、サイド-サイド干渉であっても 117NM 程度の最小離隔距離を必要とすることから、メイン-メイン、サイド-メイン、メイン-サイド、サイド-サイドの計 4 種類の干渉時間を合計して考慮する必要がある。

表 3-44 に示した羽田空港・東京湾エリアを考慮した、与干渉局 4 局からの被干渉局への干渉時間の合計値は約 551.5 秒／時であり、非常に大きく干渉時間の観点からも干渉影響度を無視することはできない。

以上、最小受信感度-128dBm を閾値として判定した最小離隔距離と干渉時間率の両側面から検討した場合、本周波数帯における与被干渉局の共用はできないことになる。

(カ) 与干渉局:9,800MHz帯／被干渉局:9,500MHz 帯の場合

表 3-38 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態(-200dB)であれば、被干渉局は与干渉局の無線周波数 9,800MHz 帯からの干渉影響を考慮する必要はない。

受信機の特性として帯域外信号がADC帯域内に折り返してしまう場合、-60dB フィルタのサイド-サイド干渉レベルであっても約 13NM の最小離隔距離が必要であり、空港及びこれに隣接する港湾(沿岸監視用レーダーの設置場所)の環境を考慮した場合、被干渉局への干渉影響度は無視できない。

(キ) 与干渉局:9,740MHz帯／被干渉局:9,500MHz 帯の場合

表 3-39 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態(-200dB)であれば、被干渉局は与干渉局の無線周波数 9,740MHz 帯からの干渉影響を考慮する必要はない。

受信機の特性として帯域外信号がADC帯域内に折り返してしまう場合、-60dB フィルタのサイド-サイド干渉レベルであっても約 7NM の最小離隔距離が必要であり、空港及びこれに隣接する港湾(沿岸監視用レーダーの設置場所)の環境を考慮した場合、被干渉局への干渉影響度は無視できない。

（ク）与干渉局：9,400MHz帯／被干渉局：9,500MHz 帯の場合

表 3-40 より、一般的な受信機特性である、受信フィルタ帯域外の信号が ADC 帯域内に折り返さない状態（-200dB）であっても、与干渉局 Q0N 波のメイン-メインで最小離隔距離は 200NM 以上（370km 以上）を必要とし、もっとも距離が短い P0N のサイド-サイドであっても 0.1NM（185m）以上を必要とする。これは被干渉局をヘリコプターと仮定し、沿岸監視用レーダーの近傍を通過することを考慮した場合、ヘリコプターの飛行高度制限である 150m（密集地以外）を超えることとなり、被干渉局への干渉影響度は無視できない。

次に干渉時間率の観点から検討した場合、サイド-サイド干渉であっても 150m を超える最小離隔距離を必要とすることから、メイン-メイン、サイド-メイン、メイン-サイド、サイド-サイドの計 4 種類の干渉時間を合計する必要がある。

表 3-44 に示した羽田空港・東京湾エリアを考慮した、与干渉局 4 局からの被干渉局への干渉時間の合計値は約 551.5 秒／時であり、非常に大きく干渉時間の観点からも干渉影響度を無視することはできない。

以上、最小受信感度-128dBm を閾値として判定した最小離隔距離と干渉時間率の両側面から検討した場合、本周波数帯における与被干渉局の共用はできないことになる。

（ケ）現実的な運用状況についての検討

上記、（オ）、（ク）において与干渉局 9,400MHz 帯と被干渉局9, 400MHz 帯、9,500MHz 帯の無線局は今回の机上計算からは共用できないことを確認した。しかし、実際には共用がなされている状況であり、与干渉局が被干渉局の運用に支障を与える干渉を発生させた事例が提起されていないのが現状である。ここでは、この理由についていくつか想定（推定）する。

まず、与干渉局：9,400MHz 帯沿岸監視用レーダーの諸元は船舶航行用レーダーと同一である。ここで羽田空港・東京湾エリアにおける沿岸監視用レーダーの局数と船舶航行用レーダーの局数とを比較する。現在の 9,400MHz 帯沿岸監視用レーダーの局数は 3 局であり、将来増加する局数を含めて 4 局と見積もる。一方、船舶航行用レーダーは移動局であるため一意に決定することはできないが、ここで表 3-45 より、2013 年 10 月 17 日における AIS データを用いた交通量解析から単位時間（1 分）当たりの船隻数は 357 隻とある。

表 3-45 東京湾における単位時間あたりの平均船隻数(2013 年 10 月 17 日)

存在した船舶の船種・船型別隻数

	一般船舶	危険物船舶	その他	不明	合計
50m未満	0	0	90	1	91
50m以上80m未満	74	91	11	8	184
80m以上160m未満	156	80	13	3	252
160m以上	56	16	6	0	78
不明	1	0	0	3	4
合計	287	187	120	15	609

単位時間あたり（1分）に存在する
平均船舶隻数（データ数÷(60×24)）

	一般船舶	危険物船舶	その他	不明	合計
50m未満	0	0	79.4	1	80.4
50m以上80m未満	34.3	45.1	7.8	4.8	92
80m以上160m未満	86.2	50	9.6	1.1	146.9
160m以上	24.2	7.5	4.3	0	36
不明	0.5	0	0	1.3	1.8
合計	145.2	102.6	101.1	8.2	357.1

出所：東京海洋大学　東京湾の交通管理に関する研究　AIS を利用した東京湾海上交通流の　管理システムに関する研究（kaiyodai.ac.jp）

ここで、中大型船の場合、X 帯である 9,400MHz 帯レーダーを 2 台以上装備していることが多いため、船舶航行用レーダー局数としては概算値として 500 局と見積もる。

次に、沿岸監視用レーダー4 局を含めた全 504 局が全て Q0N 波を送信しているとは限らないことから船舶航行用レーダーの P0N パルスの内最も短い 0.07μs を適用して 1 時間当たりの干渉時間を計算する。更に、現時点で被干渉局 Q7N のレーダーは 1 局しか確認できていないため、被干渉局を P0N 波のみを扱うレーダーとして扱う。

与干渉局の送信パルス幅を 0.07μs、送信繰り返し周波数を 2,000Hz とし、被干渉局を P0N 波のみを扱うレーダーと仮定した場合で干渉時間率を計算すると、与局 1 局におけるメイン-メイン、サイド-メイン、メイン-サイド、サイド-サイドの 1 時間当たりの合計干渉時間は 0.504 秒／時となる。504 局で計算 254 秒／時、時間率に換算して 0.07(7%)となる。すなわち被干渉局は、現時点で東京湾エリアの 9,400MHz 帯船舶・沿岸監視用レーダー 504 局からの干渉波に限定した場合において、少なくとも 200NM(約 370km)の距離から 7%の時間で干渉していることとなる。

また、与干渉局が 1.2μs、送信繰り返し周波数を 600Hz とした場合は、与局 1 局における合計干渉時間は 2.592 秒／時。504 局で 1,306 秒／時。時間率に換算して 0.36(36%)となる。よって、この条件においては、被干渉局は、現時点で東京湾エリアの 9,400MHz 帯船舶・沿岸監視用レーダー504 局からの干渉波に限定した場合において、少なくとも 200NM(約 370km)の距離から 36%の時間で干渉していることとなる。
ただし、これは 504 局が重ならない時間で干渉を及ぼした条件であり、厳密には時間的に重なる干渉もあるため、この数値よりは低くなるはずであるが、いずれにしても非常に大きな時間であることは間違いない。

以上のことから考えられることは次の通りである。ただし、これらは想定によるものであり、今回計算した最小離隔距離、干渉時間率の計算結果に影響を及ぼすものではない。

① 最小受信感度の値(-128dBm)は実測により得られているが、一般的には検出確率と誤警報確率から S/N 比が決定される。-128dBm が実際にはノイズレベル相当である場合、S/N 比を 13dB と仮定して信号として見なされるレベルは-115dBm となる。これに伴い I/N 比も 13dB 近くの数値を持つのであれば、最小離隔距離の値は先に示した計算結果より小さくなる。

② 被干渉局が観測目的からの反射レベルが干渉波のレベルより大きい可能性がある。いま被干渉局である航空気象レーダーの画面上に現れる単純な干渉波の時間は長いとする。ただし、本来の観測対象とする雨・雪・鉤状雲(ウィンドシアに起因する)などからの反射波が干渉波のレベルより十分に低いものであり、被干渉局側でのドップラ速度解析に与える影響が軽微であるならば、運用上問題ないとされている可能性がある。すなわち観測対象からの反射レベル(S)と干渉レベル(I)の比も同時に重要とされている可能性がある。

(6) 屋外実証試験結果との比較

机上でのシミュレーション結果と屋外実証試験結果とを比較し、シミュレーションの妥当性を確認する。

図 3-29 は屋外実証試験(与干渉局:千葉県館山実験局、被干渉局:千葉県船形漁港に設置、離隔距離:約 3.8km)に先立ち、離隔距離を含めた実験場所の環境を想定した受信レベルの事前の机上検討結果である。

これに対して図 3-30 は屋外実証試験で取得した受信レベルを記載したものである。ここで同図内のコメントに記載の通り、P0N 波においては現場環境における伝搬要因のため観測レベルに-6.81dB の低下がみられるものの Q0N 波においては+1.97dB の誤差に収まっており、ハイトパターンによる電力増加の可能性としての+6dB 以内に収まっていることを確認した。

以上より、シミュレーション結果と実環境における観測結果の整合性を確認することができ、これをもってシミュレーションが妥当である根拠とする。

なお、屋外実証試験の事前シミュレーションでは実機のパルススペクトラムを使用しており、特に Q0N 波ではパルス帯域が狭くなるよう波形が生成制御されている。

なお、(5)シミュレーション結果では条件が不利となるよう Q0N パルス帯域外スロープが広がる波形を作成しているため、屋外実証シミュレーション試験結果と比較して必ずしも結果が一致しないことに注意が必要である。

沿岸監視レーダー条件

パルス幅(P0N/Q0N)	チャープ幅	PRF
0.16/18.3μs	22MHz	1280Hz

沿岸監視レーダー諸元

項目	諸元
送信電力	200 W
アンテナ利得	35.3 dBi
サイドローブ減衰	- 34 dB
アンテナビーム幅	水平0.5度、垂直20度
送信給電損失	1 dB (代表値)

PXA+ホーン諸元

項目	諸元
アンテナ利得	12 dBi
受信給電損失	1 dB (代表値)
最小受信感度	-75 dBm (@Digital BW 25MHz)

$$IN = P_{EIRP} + G_{ri} + 10\log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 - \beta d_{km} - Loss_{\square} - P_{min} - A(\Delta f) \qquad (\beta : 0.009)$$

受信レベル (dBm)

沿岸(P0N) – 気象(P0N)	沿岸(P0N) – 気象(Q0N)	沿岸(Q0N) – 気象(P0N)	沿岸(Q0N) – 気象(Q0N)	離調減衰なし
-56.5	-58.6	-95.7	-95.7	-25.8

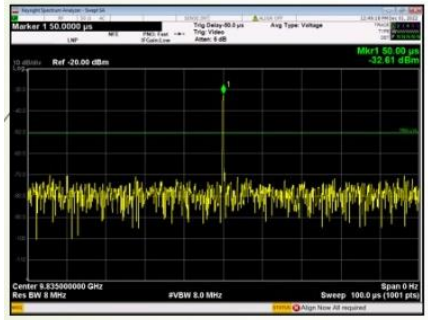
長パルスは50MHz離調時は雑音電力未満で測定困難

図 3-29 屋外実証における事前シミュレーション[23]

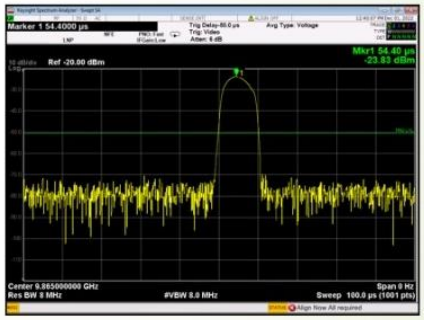
出所）日本無線作成

受信レベル (dBm)

沿岸(P0N) – 気象(P0N)	沿岸(P0N) – 気象(Q0N)	沿岸(Q0N) – 気象(P0N)	沿岸(Q0N) – 気象(Q0N)	離調減衰なし
-56.5	-58.6	-95.7	-95.7	-25.8



沿岸監視P0Nの中心周波数に合わせた場合の時間波形
(シミュレーション -6.81dB)



沿岸監視Q0Nの中心周波数に合わせた場合の時間波形
(シミュレーション+1.97dB)

測定レベルとシミュレーション結果の整合性を確認
(伝搬要因での短パルスのレベルが低下)

図 3-30 シミュレーション及び屋外実証試験結果との比較[24]

出所）日本無線作成

[23] 令和 4 年度第 2 回会合資料「資料 2-4_気象レーダーに関する干渉試験結果_20221215a.pptx」の p9 より引用。
[24] 令和 4 年度第 2 回会合資料「資料 2-4_気象レーダーに関する干渉試験結果_20221215a.pptx」の p10 より引用。

3.3　総合実証試験準備

3.3.1　免許取得

（1）　免許取得の目的

千葉県館山市の造船所内の設備において、9,850MHz 帯沿岸監視用レーダーの実験試験局免許を取得した。免許を取得した 9,850MHz 帯沿岸監視用レーダーと、気象レーダー及び CS 受信機との干渉試験により、各無線システムとの周波数共用性を評価し、その結果を技術的条件案の検討に活用した。

（2）　実験試験局の運用スケジュール

本実験試験局は 2022 年 10 月に免許を取得した後、10 月末から気象レーダー及びCS受信機との干渉試験を実施し、2023年3月まで運用した。具体的な実験試験局の運用スケジュールを表 3-46 に示す。

表 3-46　実験試験局の運用スケジュール

項目＼日付	2022年							2023年		
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
申請書類作成	→									
本省ご相談		→								
申請書類提出			→	→						
予備免許交付				→	→					
設置工事･落成検査					→	→				
CS干渉試験						→				
気象レーダ干渉試験						→	→			
動作評価							→	→	→	
運用停止（廃止）										→

出所）日本無線作成

3.3.2　　装置の設置工事

「令和 3 年度　次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討(X 帯)」において実施した 9,740MHz 帯沿岸監視用レーダーの屋外実証試験と同様に、千葉県館山市の日本無線の実験試験局に試作アンテナを設置した。試作アンテナ設置後の様子を図 3-31 に示す。

図 3-31　試作アンテナ設置後の様子

出所)日本無線撮影

3.4　総合実証本試験

3.4.1　CS 受信機との干渉試験

（1）　背景と目的

現在、沿岸監視用レーダーに用いられる周波数は9,740MHz帯が主であるが、他に 9,400MHz 帯の船舶用レーダーなどが利用する帯域も用いられる。どちらの周波数帯域においても、レーダー信号がCS／BS 衛星放送の受信機器に作用し、衛星放送信号に対して干渉する場合があることが分かっている。CS／BS衛星放送は日本全国の様々な場所で受信されることから、沿岸監視用レーダーが設置される隣接区域においても同様にCS／BS受信設備が存在する可能性が高いため、沿岸監視用レーダーが及ぼす干渉を避けることが重要な課題となる。

現在まで、沿岸監視用レーダーが設置される場所からCS／BS受信設備までの離隔距離と、沿岸監視用レーダーからの送信信号がCS／BS受信設備のアンテナ方位などの違いから受信処理に大きく作用しないなどの状況であるかを考慮し、沿岸監視用レーダーによる干渉影響を判断してレーダーを設置している。

そこで、沿岸監視用レーダーの新たな割当て周波数候補である9,850MHz帯において、CS／BS衛星放送に対する影響を実証試験により確認し、その結果をもとに沿岸監視用レーダーに関する技術的条件案を策定した。なお、9,850MHz帯は後述するようにCS衛星放送のみに作用することから、BS衛星放送に対する実証試験は実施しないこととした。

まずは、衛星放送への干渉の仕組みを確認し、レーダー送信信号が与える衛星放送の周波数を把握した。その後、CS 衛星放送の干渉条件を過去の資料を参考にして確認した。そして、実証試験を実施する環境でのレーダー信号の状態把握を行った後に CS 受信設備を用いた実証試験を実施した。この実証試験の目的は、CS 受信設備の干渉が生じるレーダー受信信号レベルを明らかにすることであり、CS 衛星放送と共用するための沿岸監視用レーダーの技術的条件案を提案することにある。

（2） 衛星放送への干渉

9,850MHz帯の沿岸監視用レーダーが CS／BS衛星放送に対して干渉する放送チャンネルを確認する。最初に、沿岸監視用レーダーがCS／BS衛星放送の受信に及ぼす状況を確認する。CS／BS衛星放送は、11GHz～12GHz付近の周波数を用いて衛星より送信されている。沿岸監視用レーダーは9,850MHzなどの周波数で送信されるため直接的に影響する関係にはないが、CS／BS受信設備の構成からレーダー信号が作用する状況が生じ、その結果、レーダー信号が衛星放送信号に干渉する。CS衛星放送受信設備の簡易構成を図 3-32 に示す。

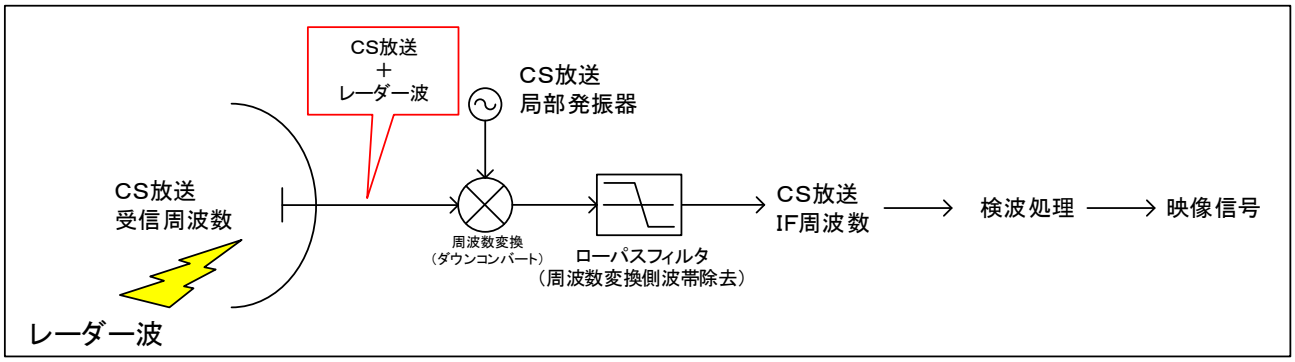


図 3-32 CS衛星放送受信設備の簡易構成

出所）日本無線作成

図 3-32 のように、衛星放送信号は受信設備で受信されると、装備される局部発振器（ローカル信号発振器）で生成されるローカル信号により周波数変換の処理を受け、低域通過タイプのフィルタ（ローパスフィルタ）により衛星放送のIF信号を選択し出力する。そして、この衛星放送IF信号が受信検波処理を施され映像信号になり、放送映像として表示されて視聴される。

このとき、衛星放送と異なるレーダー波が受信されると、局部発振器のローカル信号にて周波数変換を受け、低域通過タイプのローパスフィルタを通過できる周波数に変換される場合がある。

以上に述べた影響が生じる過程の説明図として、CS 受信機内でのレーダー信号の周波数変換を図 3-33 に示す。

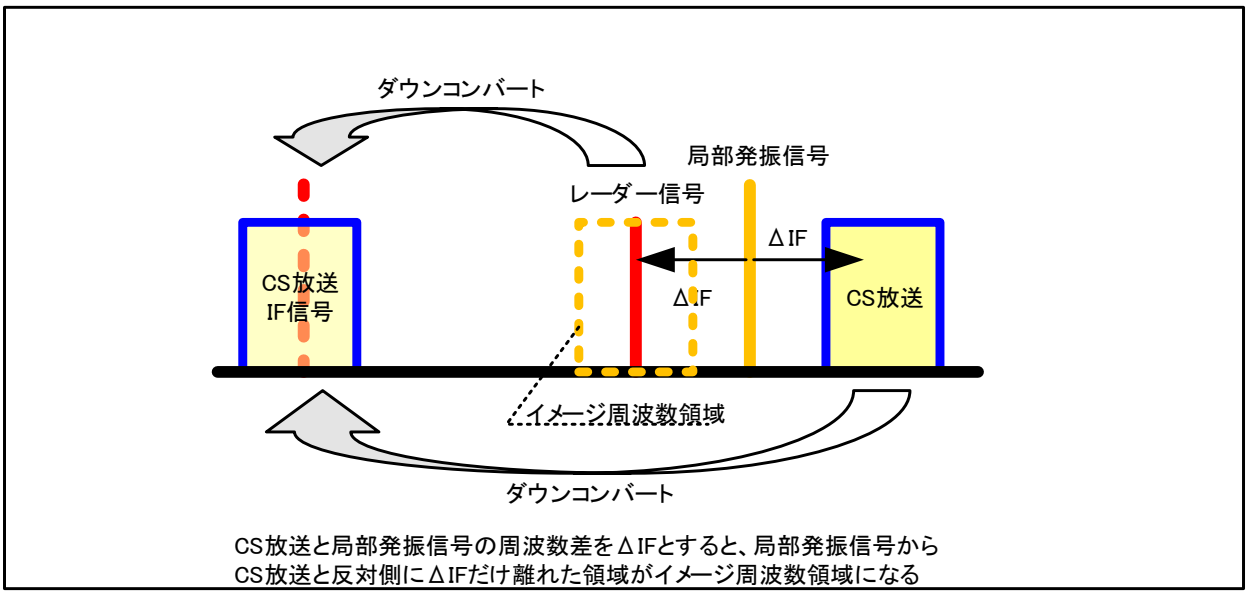


図 3-33 CS受信機内でのレーダー信号の周波数変換

出所）日本無線作成

衛星放送信号は局部発振信号によりIF信号に周波数変換（ダウンコンバート）される。この時、衛星放送のIF信号周波数は、衛星放送信号の周波数と局部発振信号の周波数の差（ΔIF）になる。

レーダー信号が存在する場合、レーダー信号の周波数は衛星放送の周波数とは異なるが、局部発振信号の周波数からΔIFだけ低い周波数にレーダー信号が存在すると、周波数変換（ダウンコンバート）により衛星放送と同じIF信号の周波数領域にレーダー信号のIF信号が生じる。そのため、実際には衛星放送と異なる周波数でレーダー装置が運用されていたとしても、衛星放送の受信設備の処理の過程で同じ周波数のIF信号になるため、レーダー信号による干渉として、衛星放送に影響が生じてしまう。

なお、全ての衛星放送の放送チャンネルに対してレーダー信号が作用することはなく、レーダー装置が扱う周波数により干渉を受ける放送チャンネルが特定される状況である。

そこで、沿岸監視用レーダーが扱う周波数とともに 9,850MHz帯が関わる衛星放送の放送チャンネルを確認する。CS／BS衛星放送の周波数諸元を表 3-47 に示す。

表 3-47 CS／BSの放送信号の周波数諸元

項目	CS放送(124°/128°衛星)	CS放送(110°衛星)	BS放送
搬送波周波数	12.268GHz～12.733GHz	12.228GHz～12.731GHz	11.72GHz～12.17GHz
局部発振周波数	11.2GHz (他に 11.3GHz などがある)	①10.678GHz ②9.505GHz	①10.678GHz ②9.505GHz
IF帯域周波数	1.068GHz～1.533GHz	①1.550GHz～2.053GHz ②2.726GHz～3.206GHz	①1.049GHz～1.472GHz ②2.241GHz～2.664GHz
イメージ領域周波数	9.667GHz～10.132GHz (11.3GHz の場合: 9.867GHz～10.332GHz)	①8.625GHz～9.128GHz ②6.299GHz～6.779GHz	①9.206GHz～9.629GHz ②6.841GHz～7.264GHz
その他	124 度/128 度衛星共に周波数や偏波特性は同じ	①N-SAT110(右旋偏波) ②JCSAT-15(左旋偏波)	①BSAT-3/右旋偏波 ②BSAT-4/左旋偏波

出所)日本無線作成

次に、9.850MHz 帯が影響する CS 衛星放送チャンネルを表 3-48 に示す。9,850MHz帯の沿岸監視用レーダー装置は、CS衛星放送の一部の放送チャンネルに対して作用することが確認できる。実証試験では、当該チャンネルに対して影響を確認する試験を実施した。

表 3-48 9,850MHz 帯が影響する CS 衛星放送チャンネル

項目	仕様
レーダー送信周波数	9,835MHz／9,865MHz
CS局部発振周波数	11.2GHz
レーダー送信周波数が影響するCS搬送周波数	12.565GHz／12.535GHz
放送チャンネル	JD5(垂直)／JD2(水平)
放送チャンネルの帯域	JD5:12.5545GHz～12.5815GHz JD2:12.5095GHz～12.5365GHz

出所)日本無線作成

（3） CS衛星放送の干渉条件

CS衛星放送への干渉は、別のレーダー装置になるが既に検討されており、次の出典資料を基にする。

資料1） 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会

気象レーダー作業班 X 帯サブ・ワーキング・グループ（第11回）

気レ X11-4「CSとの共用条件整理」

資料2） 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会

気象レーダー作業班（第2回）

気レ作 2-4「気象レーダーと BS/CS 受信共用検討資料」

上記の資料からCS／BS衛星放送に及ぼす干渉信号の強度はレーダー干渉閾値として表 3-49 のようになる。また、レーダー干渉閾値は下記式で求める。

レーダー干渉閾値＝CS電力束密度 － Cave/Ipeak － 干渉マージン

＋ イメージ選択度 ＋ アンテナ選択度

今回はCS衛星放送での実証試験を実施することから、CS干渉のレーダー干渉閾値をもとにした。

表 3-49 衛星放送の干渉条件

項目	CS干渉計算 ※資料1	BS干渉計算 ※資料2	備考
放送信号 pfd	-108dBW/㎡	-102.6dBW/㎡	
イメージ妨害抑圧比	93.5dB	91dB	
アンテナ選択度	15dB	0dB 以上	
所要 Cave/Ipeak	-1.7dB	10dB ※	※資料２よりパルス幅 20us 帯域 34.5MHz を参照
干渉マージン	12.2dB ※	12.2dB ※	※ITU-R の衛星間調整基準に基づく値
レーダー干渉閾値	-10.0dBW/㎡	-33.8dBW/㎡	

※放送信号 pfd：東京晴天時のアンテナ端における電力束密度
※イメージ妨害抑圧比：受信設備によるレーダー信号などのイメージ領域の信号抑圧比
※アンテナ選択度：指向方向以外の信号選択度で、基準利得からの減衰を現す
※所望 Cave/Ipeak：受信処理における干渉信号の影響度
※干渉マージン：衛星放送信号は降雨などの影響で大きく減衰するので、信号強度の低下の許容範囲
出所）日本無線作成

（4） CS衛星放送との干渉試験の準備

実証試験では沿岸監視用レーダー装置から送信されるレーダー信号で実施することが求められる。また、9,850MHz 帯での沿岸監視用レーダーの運用に対する CS 衛星放送への干渉状況を実証する試験であるため、日本無線が千葉県館山市に保有するレーダーの実験試験局を用いて、9,850MHz 帯のレーダー装置を製作、実験試験局の免許を取得し実証試験を行った。装置については「3.2.1 試作アンテナ及び送受信機の評価」に、実験試験局の免許ついては「3.3.1 免許取得」に詳細を記載している。

レーダー装置の設置場所を図 3-34 に示す。この設置場所において必要な離隔距離を取り実証試験を実施する。

図 3-34 館山実験試験局

左図出所)電子国土 web より 令和5年 3 月 2 日取得 URL は下記(必要部分のみ切り取り)
https://maps.gsi.go.jp/#10/35.364976/139.928055/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1
右図出所)電子国土 web より 令和5年 3 月 2 日取得 URL は下記(必要部分のみ切り取り)
https://maps.gsi.go.jp/#16/34.991464/139.840529/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1
右図拡大写真出所)電子国土 web より 令和5年 3 月 2 日取得 URL は下記(必要部分のみ切り取り)
https://maps.gsi.go.jp/#18/34.991532/139.840599/&base=ort&ls=ort&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m

次に、このレーダー実験試験局から発射するレーダー信号の強度について確認する。レーダー装置の送信諸元を表 3-50 に示す。

このレーダー実験試験局は送信電力200[W]、方位分解能を 0.5 度とするためにアンテナ開口は18フィート長になる。そのため、アンテナの遠方界は約1.9kmとなり、その地点での受信電力も掲載する。

表 3-50 レーダー装置の送信諸元

項目	諸元等	備考
送信電力	23.0dBW	定格 200W より
伝送ロス	0.7dB	導波管等
空中線利得	35dBi	
送信EIRP	57.3dBW	
近傍界/遠方界境界	1914m	9,850MHz 時概算
レーダー干渉閾値 CS放送	-11.5dBW	前項より干渉マージン 12.2dB 含む
遠方界 1914m での受信	-19.3dBW	

出所）日本無線作成

表 3-50 のように、遠方界で受信される電力レベルはCS衛星放送のレーダー干渉閾値に達しないことから、CS衛星放送の干渉試験ではレーダー装置と近接させる必要がある。そこで、近接距離でのレーダー信号強度の確認を実施した。レーダー装置の近傍距離でのレーダー信号強度の測定結果を表 3-51 に示す。なお、この測定は 20dBiの標準ホーンを使用し、スペクトラムアナライザにて対象周波数に現れる信号成分を測り、その測定値からCS干渉レベルを算出した。

表 3-51 レーダー装置の近接距離でのレーダー信号強度の測定結果

離隔距離	測定値	CS干渉レベル（算出）	EIRP（算出）
10m	-1.8dBm	-10.5dBW	20.4dBW
30m	+11.46dBm	+2.7dBW	43.2dBW
50m	+7.7dBm	-1.1dBW	43.9dBW

出所）日本無線作成

表 3-51 より、距離30mであれば晴天時のCS干渉閾値「+2.2dBW/㎡」を超えており、干渉確認試験の候補に挙げられる。試験ではこの距離におけるCS衛星放送への干渉を確認する。

（5） CS衛星放送との干渉試験の実施

前項までの実証試験の準備で、レーダー装置から30mの距離において、CS衛星放送への干渉が生じる閾値レベルを超えることが分かった。そこで、その距離でのCS衛星放送への干渉状況を確認した。

なお、実施においてはスカパーJSAT 株式会社のご協力により CS 受信機材一式を借用した。CS 衛星放送との干渉試験の様子を図 3-35 に、測定構成簡略図を図 3-36 に示す。

図 3-35 CS衛星放送との干渉試験の様子

出所）日本無線撮影

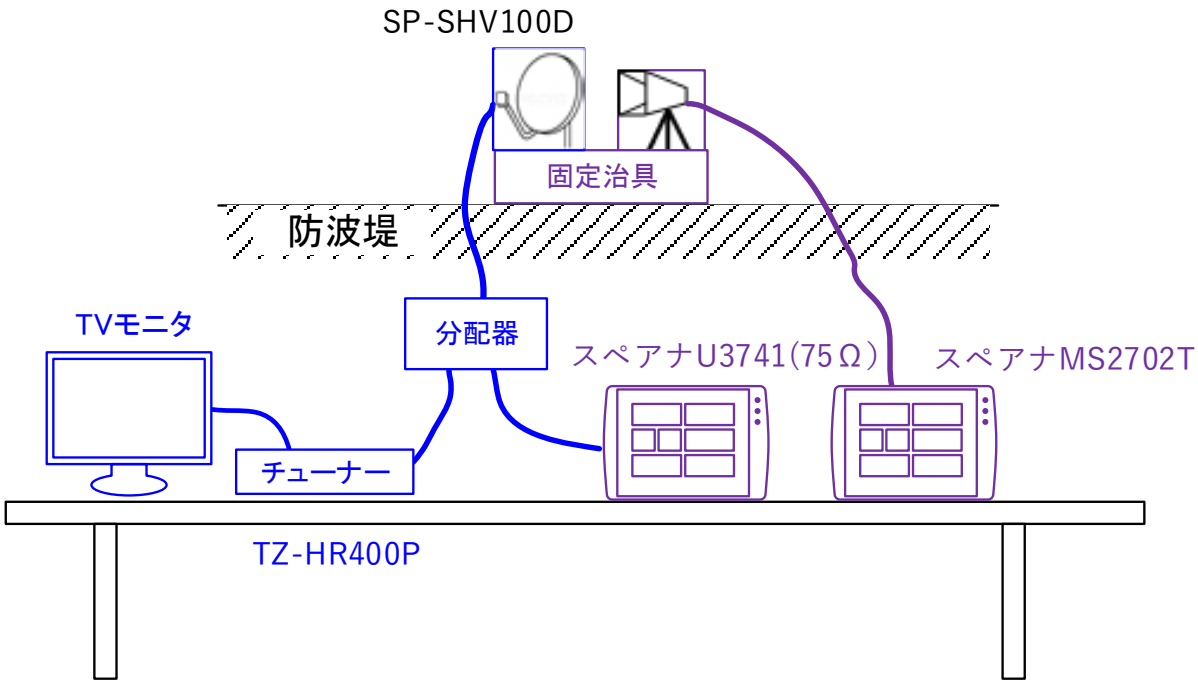
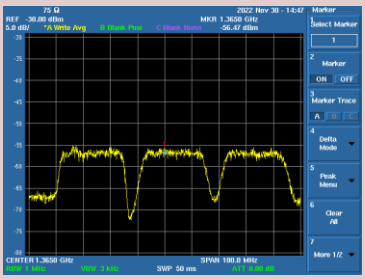
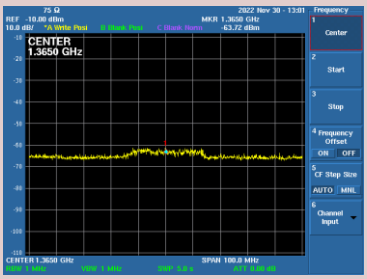
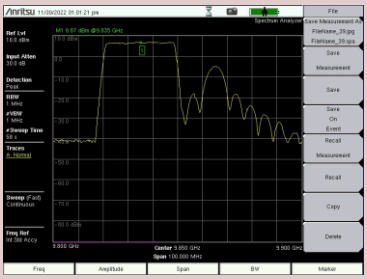


図 3-36 測定構成簡略図

出所）日本無線作成

この測定で観測されたCS放送信号とレーダー信号、及び観測値などを表 3-52 に示す。

表 3-52 30m離隔での干渉確認

CS放送信号	レーダー干渉信号	レーダー信号
		
測定値:-56.7dBm ケーブル損: 9.8dB 信号強度:-46.9dBm	測定値:-63.7dBm ケーブル損: 9.8dB 信号強度:-53.9dBm	測定値:+6.8dBm ケーブル損: 6.1dB 信号強度:+12.9dBm
アンテナ端電力束密度 -46.9dBm⇒-105.54dBW/㎡	アンテナ端電力束密度(推定) -53.9dBm⇒-128.39dBW/㎡	アンテナ端電力束密度 +12.9dBm⇒+4.2dBW/㎡
–	抑圧比想定 108.5dB ⇒測定環境では抑圧比 132.5dB	CS受信出力想定 -59.8dBW

出所)日本無線作成

実証試験では CS 衛星放送とレーダー信号を同時に受信できるように機器を配置するが、CS 放送信号に干渉を発生させるレーダー信号(レーダー干渉信号)を同時に測定することができなかったため、レーダー干渉信号の測定では、CS 受信装置のアンテナ指向を僅かだけ変移させ CS 放送を受信しないように調整して測定した。

また、30m離隔での実証試験では、CS衛星放送に対して沿岸監視用レーダー装置からの送信信号による干渉は生じていない。表 3-52 の測定値より、CS衛星放送信号よりレーダー干渉信号の方が約 7dB 小さい結果となっている。この理由は、CS アンテナの方位と CS アンテナのパターン特性と共にレーダー信号の到来方向の違いから、CS衛星放送へのレーダー信号の影響が小さく、干渉が生じるレベルに達していないためであった。

各信号の測定と受信電力束密度などの計算を以下に示す。

1） CS放送信号

CS 受信装置では、衛星放送から到来した CS 衛星放送信号を受信し、局部発振信号（ローカル信号）で周波数変換を行い、1GHz 帯のIF信号を生成して検波処理を行うが、この測定では1GHz帯のIF信号の状況を測定した。このようにIF信号には幾つかの帯域に分かれた信号がみられるが、これは放送チャンネルごとに帯域が分かれているためで、今回対象としているJD5（垂直偏波）は測定したキャプチャの中央に存在する信号になる。

この受信信号の強度をもとにCSアンテナ端に到達している電力束密度を計算する。

最初に測定値をもとにCS受信装置の出力レベルを計算する。測定で利用しているケーブル損失は9.8[dB]であるので下記のようになる。

CS受信装置出力[dBm] ＝ 測定値[dBm] ＋ ケーブル損失[dB]

＝ -56.7[dBm]+9.8[dB] ＝ -46.9[dBm]

次に CS 受信装置の回路利得とアンテナ利得からアンテナに到来する電力束密度を計算する。CS受信装置のコンバータ利得は53[dB]、その偏差は±5[dB]、アンテナ利得は32. 7[dBi]（45cm 相当）とされている。また、放送信号の搬送周波数は12. 565[GHz]になるため、これらとともにアンテナ開口面積を用いて電力束密度[dBW/㎡]を計算する。

アンテナ開口面積とアンテナ利得には次の関係がある。

アンテナ開口面積[dB/㎡] ＝ アンテナ利得[dBi] $+10\mathrm{Log}_{10}$(波長^2 ÷ （4×π））

そのため CS 受信装置出力の値から次のように計算できる。

電力束密度[dBW/㎡]＝CS 受信装置出力[dBm]-コンバータ利得[dB]

-アンテナ開口面積[dB/㎡] － 30[dB]※

＝ -46.9[dBm] － 53[dB]

－ （32.7[dBi]+(-43.43[dB/㎡]))-30[dB]

＝ -119.16[dBW/㎡]

※[dBm]から[dBW]へ変換するため30[dB]で調整（以下同様）

この-119.16[dBW/㎡]であるが、CS衛星放送の放送チャンネルの帯域幅は約23[MHz]になるため、その平均レベルで測定されているとすると、約 13.6dB 小さい値と考えられ、次のようになる。

電力束密度[dBW/㎡] ＝ -119.16[dBW/㎡] ＋ 13.617[dB]

＝ -105.54[dBW/㎡]

この電力束密度-105[dBW/㎡]は表 3-49 で示した電力束密度と概ね同様の強度で到来している

ことが確認できる。なお、コンバータ利得の偏差が±5dB 程存在していることから許容範囲と考える。

2） レーダー干渉信号

レーダー干渉信号の測定からCS受信装置に到来する電力束密度を、下記にて計算する。

電力束密度推定[dBW/㎡](レーダー)

= 測定値[dBm] ＋ ケーブル損失[dB]

－ コンバータ利得[dB] － アンテナ開口面積[dB／㎡]

= -63.72[dBm] ＋ 9.8[dB]

－ 53[dB] －（32.7[dB]-41.32[dB]）-30dB※

= -128.30[dBW/㎡]

この計算値には抑圧比は含めていないため、コンバータの抑圧比 93.5[dB]とアンテナ選択性15[dB]を加味する。

電力束密度推定[dBW/㎡](抑圧比含む)

= 電力束密度推定(レーダー)[dBW/㎡] ＋ 抑圧比[dB]

= -128.30[dBW/㎡] ＋ 93.5[dB] ＋ 15[dB]

= -19.8[dBW/㎡]

この値は、干渉閾値+2.2[dBW/㎡]から20dB ほど小さいことが分かる。これは CS 受信設備での抑圧比が想定よりも20dB ほど大きいことになる。実際にはアンテナ選択性が良好と受け止められる状況である。

3） 沿岸監視用レーダーの信号(レーダー信号)

沿岸監視用レーダー装置からのレーダー送信信号の電力束密度を確認する。

ケーブル損失は 6.1[dB]、アンテナ開口面積はアンテナ利得20[dBi]の標準ホーンを用いているため、9850MHz 帯から-21.32[dB/㎡]となり、下記のようになる。CS干渉の電力束密度+2.2[dBW/㎡]に対して問題ない値と確認できる。

レーダー送信信号の電力束密度「dBW/㎡」=

測定値[dBm]+ケーブル損失[dB]-アンテナ開口面積[dB/㎡]-30dB※

= 6.8[dBm]+6.1[dB]-(-21.32[dB/㎡])-30dB※

= 4.22[dBW/㎡]

この+4.22[dBW/㎡]とレーダー干渉信号での計算結果-19.8[dBW/㎡]から、今回の測定での抑圧比は想定よりも 24.02[dB]良好な状況になる。

また、この電力束密度をもとに、CS受信装置の利得及び抑圧比を考慮するとCS受信機からの出力信号の想定値は下記になる。なお、アンテナ開口面積は 32.7[dBi]に対して 9850MHz 帯とするため-41.32[dB]を付加することから-8.62[dB/㎡]になる。

CS受信機出力(レーダー信号想定値)[dBm] ＝

レーダー信号電力束密度[dBW/㎡]+アンテナ開口面積[dB/㎡]

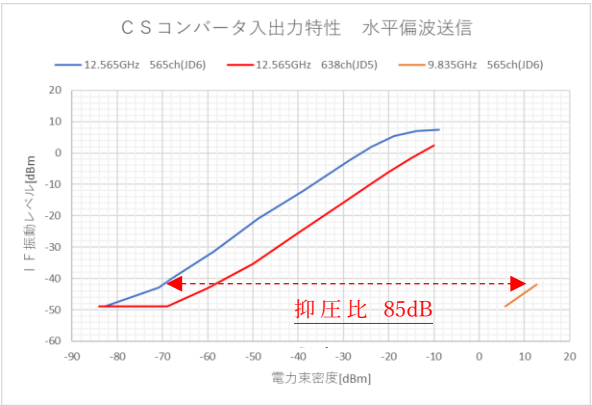
＋コンバータ利得[dB]-CS受信装置抑圧比[dB]+30[dB]※

＝ +4.22[dBW/㎡]+(-8.62[dB/㎡])+53[dB]-(93.5[dB]+15[dB])+30[dB]

＝ -29.9[dBm]

この値は表 3-52 では『レーダー干渉信号』の測定値-53.9[dBm]に相当するものだが、測定結果は計算値よりも 24dB 程低い。これは CS 受信装置の抑圧比が想定値 108.5[dB]よりも大きい132.5[dB]になることを示しており、その状況を知るために抑圧比を確認した。なお、抑圧比の状況とともに偏波特性も合わせて測定している。

CS受信装置コンバータ部の偏波面特性とともに 9850MHz 帯域の抑圧比を図 3-37 に示す。日本無線長野事業所の電波暗室で測定した。



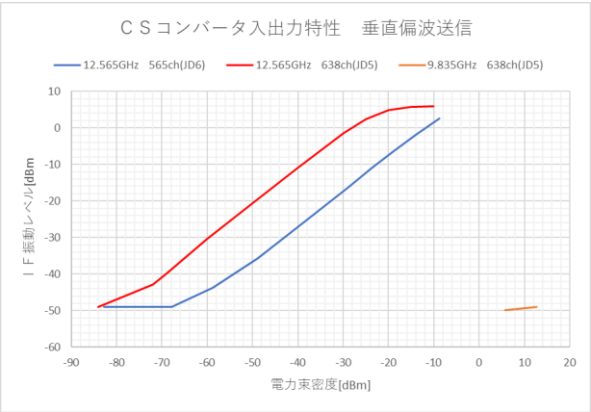


図 3-37 CS受信機コンバータ部の受信特性

出所)日本無線作成

この測定から、CS干渉試験で用いた受信装置の抑圧比は、計算では 93.5[dB]としていたが測定値は約 85[dB]であり、約 8[dB]小さいことが分かった。この違いは受信機の固体差などの影響により生じたと考えられる。

また抑圧比が 24[dB]増加したのは、アンテナ選択性が 15[dB]から 39[dB]と良好な方位にレーダー装置が設置されていることになる。また8[dB]分の行先もあるので、実際には 47[dB]程度のアンテナ選択性にあると想定された。しかし、ここでの抑圧比は最良の状況と考え干渉を検討するには今ま

で通りの値(抑圧比 93.5dB／アンテナ選択性 15dB)を用いることとした。

このように30m離隔での実証試験では、与干渉信号となるレーダー送信信号は干渉を発生させるレベルであったが、CSアンテナの指向方位とレーダー装置の位置関係からアンテナ選択性が良好な状況となったため、この環境で干渉は確認されなかった。

そこで、レーダー実験試験局を用いて干渉が生じる場所を探し、レーダー空中線から約2mの位置にCS アンテナを設置した場合に干渉が確認され、その場所で再度試験を実施した。

2m離隔位置での干渉試験結果を図 3-38 に示す。

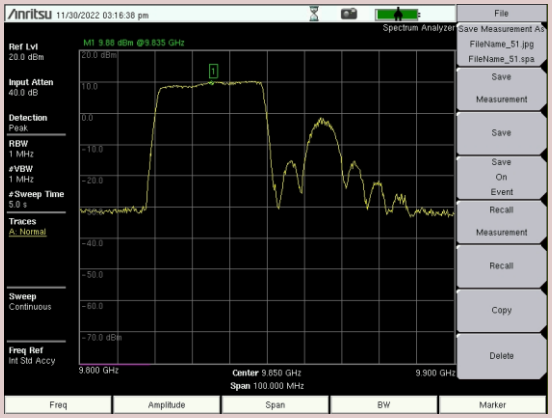
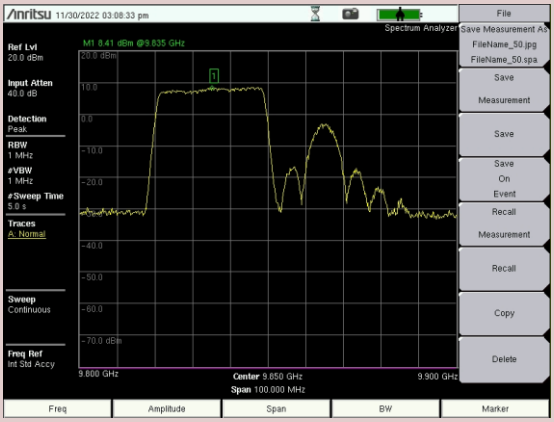
レーダー信号　干渉あり	レーダー信号　干渉見られず
	
観測値:+9.88dBm 電力束密度:+7.29dBW／㎡	観測値:+8.41dBm 電力束密度:+5.82dBW／㎡

図 3-38　2m離隔位置での干渉試験結果

出所)日本無線作成

図 3-38 より、+7.29[dBW/㎡]と+5.82[dBW/㎡]の間に干渉閾値が存在する結果となった。これは想定した+2.2[dBW/㎡]より大きい値であるが、偏差内として考える。

計算）測定+9.88[dBm]+ケーブル損 6.1[dB]-アンテナ利得 20[dBi]-　開口-41.31[dB/㎡]
=7.29[dBW/㎡]

測定+8.41[dBm]+ケーブル損 6.1[dB]-アンテナ利得 20[dBi]-　開口-41.31[dB/㎡]
=5.82[dBW/㎡]

以上の結果も踏まえて、CS 衛星放送との共用条件案を検討した。

3.4.2　気象レーダー装置との干渉試験

（1）　背景と目的

気象レーダー装置は、9,400MHz 帯及び9,700MHz 帯などで運用されており、沿岸監視用レーダーとおよそ同じ周波数を利用している。気象レーダー装置においては、急激な豪雨の観測や観測精度の向上などの要請から高精度化が進められており、同じ周波数帯域を利用している沿岸監視用レーダーでは共用できる技術的条件が必要である。特に新たに運用の候補とした 9,850MHz 帯では、沿岸監視用レーダーの探知性能の向上を捉え、IALA ガイドライン 1111 の Standard を参考に、距離分解能の向上と規定される物標目標に対する探知距離の確保を目指し、送信信号のパルス幅の狭小化とともに探知距離を確保するために必要な送信電力の増強を目的としている。そのため、隣接する9,700MHz 帯の気象レーダー装置に与える影響を実証試験により把握し、その結果をもとに技術的条件案を検討する。

ここでは、沿岸監視用レーダー装置の送信仕様（パルス幅、電力）を明らかにし、隣接する周波数における気象レーダー装置の仕様を提示する。そして、沿岸監視用レーダー装置からの送信信号を気象レーダー装置で受信し、その影響を把握するための実証試験の実施方法を検討する。また実証試験の結果から気象レーダー装置で生じる干渉の影響を明らかにし、その干渉に対する技術的条件を検討し、提案することを目的とする。

（2）　実証試験の方法

実証試験は、沿岸監視用レーダー装置からの送信信号が、気象レーダー装置で受信された際の干渉の影響を試験することが必要になる。試験では、沿岸監視用レーダー装置とともに気象レーダー装置も動作の操作設定や、気象レーダーにおいては受信処理した状態を観測する必要があるため、実際に運用される無線局を利用する事はできない。

今回、実証試験で用いる無線局として、日本無線が保有する沿岸監視用レーダー装置の実験設備が候補となるが、気象レーダー装置を理想的な場所に設置するには気象レーダー実験試験局を準備・運用する必要性がある。しかし、気象レーダー装置の実験試験局の準備にかかる費用ならびに運用するための手続きに時間を要することから本試験事務で対応するには難しく代替方法をとることとした。

代替方法は、3つの要素を組み合わせることで対応する。

①気象レーダー装置での「令和 3 年度　次世代高機能レーダー等の導入による周波数の有効利用のための技術的条件に関する調査検討（X 帯）」（以降、高機能レーダー技術試験事務）において実施された沿岸監視用レーダー装置からの干渉試験では、気象レーダー装置の実験試験局が準備／運用され、日本無線が保有する沿岸監視用レーダー装置の実験設備からの干渉信号を用いて検討されている。この試験では、気象レーダー装置において干渉信号のあり／なしでの観測データ（ベースバンド信号）が存在しており、そのデータ提供を受ける。

②今回は気象レーダー装置を設置しないが、高機能レーダー技術試験事務の実証試験で気象レーダーが設置された場所で沿岸監視用レーダー装置からの送信信号を受信し、その信号を先の実

証試験で取得された観測データに重畳できるベースバンド信号（複素信号=IQ 信号）として取得する。

③気象レーダー装置での取得データと、沿岸監視用レーダー装置からの送信信号を受信し得られたベースバンド信号を用い、電子計算機上で重畳処理を行うことで干渉影響を判断する。なお、電子計算機上での処理は①の気象レーダー装置を設置した東芝インフラシステムズ株式会社に委託した。

実証試験では観測データがベースバンド信号で取得されていることを利用し、干渉信号をベースバンドで用意することで実際のレーダー設備を用意しなくても干渉の状況が判断できることを利用し、実際の気象レーダー装置を準備せずに実施することとした。

（3） 気象レーダー装置の仕様

気象レーダー装置の仕様を表 3-53 に示す。

表 3-53 気象レーダー装置の仕様

項目	諸元
送信電力	200 W
アンテナ利得	38 dBi
サイドローブ減衰	-20 dB
アンテナビーム幅	水平、垂直 2 deg.
送信給電損失	1 dB（代表値）
占有周波数帯幅	1.2 MHz
PRF	1,200 Hz / 1,500 Hz（代表値）
パルス幅	P0N: 1 μs Q0N: 32 μs
チャープ幅	1.36 MHz

出所）日本無線作成

また、受信機の飽和入力レベルも記載する。このレベルを超える信号が存在すると、受信機内の特にADC 変換器出力データが歪むことから、適切な受信処理を行うことができないため、耐干渉性能のひとつの指標として扱うことができる。ADC変換器の飽和レベルは概算として下記のようになる。

帯域幅を2MHzとすると熱雑音電力は約-110[dBm]になる。ADC 変換器のダイナミックレンジは製品ごとに異なるが、約 80[dBc]とすると、飽和レベルは-30[dBm]程度と見積もることができる。

（4） 沿岸監視用レーダー装置の仕様

今回使用した沿岸監視用レーダー装置の仕様を表 3-54 に示す。

表 3-54 沿岸監視用レーダー装置の仕様

項目	諸元
	固体素子型
送信電力	200 W
送信給電損失	1 dB（代表値）
アンテナ利得	35.3 dBi
サイドローブ減衰	-34 dB
アンテナビーム幅	水平:0.41 deg. 垂直:16.3 deg.
送信パルス幅	P0N: 0.16 μs　Q0N: 18.3 μs
周波数	P0N: 9,835 MHz ± 4 MHz / 9,865 MHz ± 4 MHz Q0N: 9,865 MHz ± 4 MHz / 9,835 MHz ± 4 MHz
チャープ幅	22MHz
PRF	1,280Hz

出所）日本無線作成

実証試験において、気象レーダー装置で受信する沿岸監視用レーダー装置から送信される信号強度を見積もる。

（5） 実証試験の実施

1） 試験準備

本調査検討での実証試験では 3.4.2(2)で示した②干渉信号の受信データの取得と③観測データと干渉信号の受信データを用いた電子計算機上での干渉評価を実施する。

まず、実証試験での沿岸監視用レーダー装置からの送信信号の受信であるが、①の実施でも日本無線が保有する実験試験局を用いたことから、同じ環境で取得することとし千葉県館山湾にて実施した。気象レーダーに関する実証試験の測定構成及び機器の設置状況を図 3-39 に示す。

沿岸監視用レーダー装置からみて館山湾の対岸にあたる約 3.8km離れた地点に気象レーダー装置を模擬したホーンアンテナとスペクトラムアナライザを配置し、到来するレーダー信号を受信しデジタル的に記録した。

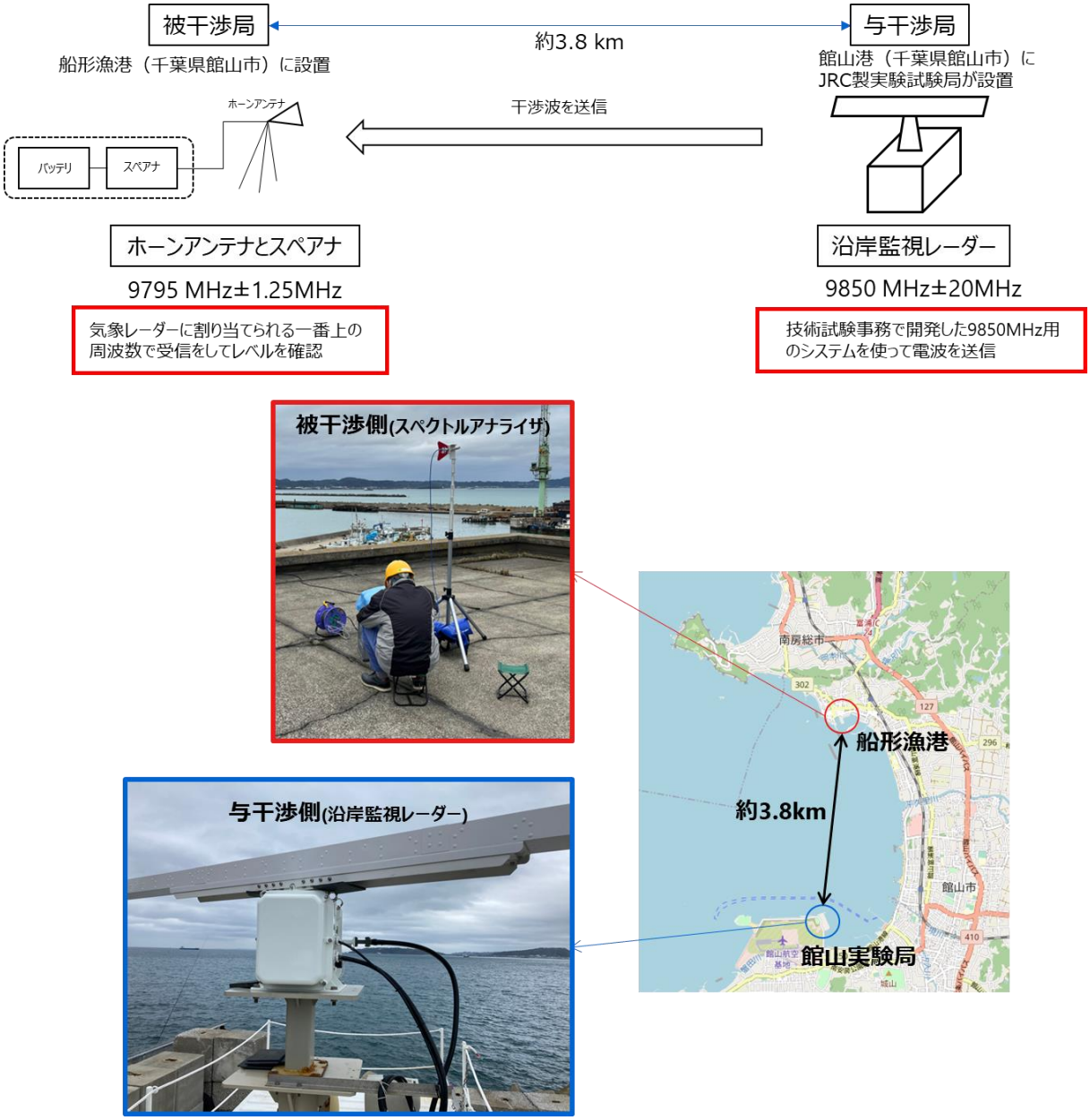


図 3-39 気象レーダーに関する実証試験の測定構成及び機器の設置状況

出所）日本無線作成

受信方法は、スペクトラムアナライザのIQ検波機能とともにデジタルストレージ機能を用いて実施している。測定器の仕様を表 3-55 に示す。

表 3-55 測定器の仕様

項目	諸元
アンテナ利得	12 dBi
受信給電損失	1dB（代表値）
スペクトルアナライザ	N9030A PXA シグナル･アナライザ
帯域幅（デジタル IF）	25 MHz

出所）日本無線作成

このデジタル的に記録したデータを図 3-40 に示した干渉解析フローに従い処理を行う。このフローで示す『屋外試験』が今回の実証試験にあたる。

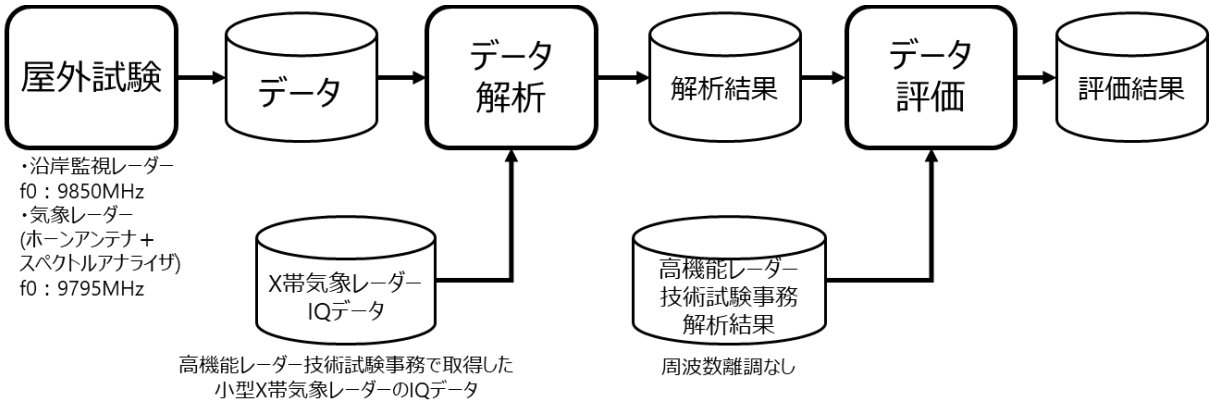


図 3-40 実証試験での干渉解析フロー

出所）日本無線作成

また、高機能レーダー技術試験事務で取得したデータは「X 帯気象レーダーIQ データ」に相当する。データのサンプリングなどの調整は必要ではあるが、この解析フローにより実証試験を進める。

次に、この手法での評価精度の確認では、高機能レーダー技術試験事務においては、同じ搬送周波数での干渉状況の評価が実施されており、今回、同じ周波数として受信した場合の解析フロー結果と、令和3年度に評価された結果が整合することを確認することで、今回の評価精度を担保することとした。

ただし、スペクトラムアナライザでベースバンド信号を観測する際は、スペクトラムアナライザの中心周波数の設定は受信機の中心周波数と同じ状況であり、スペクトラムアナライザの中心周波数を9,850MHzに設定すれば、周波数シフトゼロ、9,850MHz+周波数偏差とすれば、その周波数偏差分だけシフトした帯域で受信することになる。

2） 周波数関係と離調減衰量

沿岸監視用レーダーと気象レーダーの周波数関係及び離調減衰量について確認する。9,850MHz帯の沿岸監視用レーダーと本試験で被干渉局として想定している気象レーダーの周波数関係を図 3-41 に示す。また、図 3-41 での周波数関係における、沿岸監視用レーダーの短パルス・長パルスの中心周波数に対する気象レーダーの周波数離調量を表 3-56 に示す。

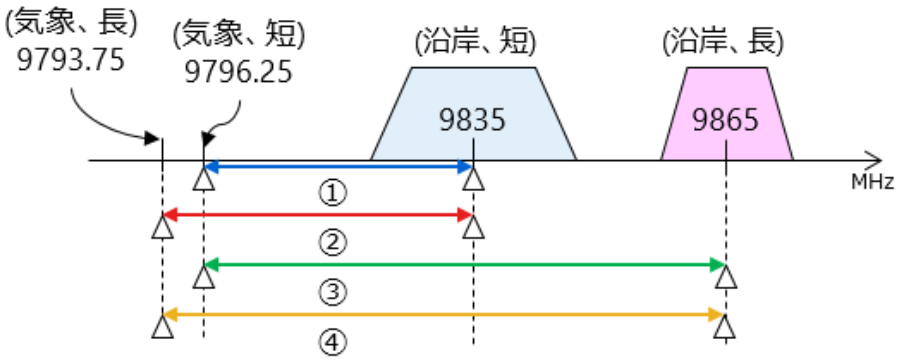


図 3-41 気象レーダーへの与干渉が最大となる周波数関係

出所）日本無線作成

表 3-56 沿岸監視用レーダーに対する気象レーダーの周波数離調量

沿岸監視用レーダー	気象レーダー	周波数離調
短パルス	短パルス	-38.75 MHz (①)
	長パルス	-41.25 MHz (②)
長パルス	短パルス	-68.75 MHz (③)
	長パルス	-71.25 MHz (④)

出所）日本無線作成

3） 妥当性確認

本試験では、沿岸監視用レーダーとホーンアンテナのメインローブを正対させ測定を行う。スペクトルアナライザの帯域幅を 25 MHz とし、気象レーダーに対して 20 倍程度広い帯域で IQ 信号を取得した後、オフライン処理で気象レーダーの受信フィルタを適用し気象レーダーに対する干渉を模擬する。

まず、意図した測定であるかを確認するため、受信レベルの理論値と測定レベルの比較を行った。気象レーダー側での受信電力P_{rec}の理論値は以下から計算した。

$$P_{rec} = 10\log_{10}\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 + P_{EIRP} + G_{ri} + \beta d_{km} + Loss_R + A_{dB}(\Delta f) \quad (1)$$

$$P_{EIRP} = P_{t,dBm} + G_{ti} \quad (2)$$

λは波長、d は離隔距離（単位はメートル）、G_{ri}は受信アンテナ利得、βは大気減衰項で今回は-0.012 dB/kmとした。d_{km}は km 単位の離隔距離、$Loss_R$は給電損失である。$P_{t,dBm}$は送信電力の dBm 値、G_{ti}は送信アンテナ利得である。$A_{dB}(\Delta f)$は受信フィルタによる電力減衰量であり、以下から計算した。

$$A(\Delta f) = \frac{\sum_{f=-80}^{f=80} R(f)T\,(f+\Delta f)}{\sum_{f=-80}^{f=80} R(f)T\,(f)} \tag{3}$$

$$A_{dB}\,(\Delta f) = 10\log_{10}(A\,(\Delta f)\,) \tag{4}$$

$T(f)$ は周波数 f の送信スペクトル特性、$R(f)$ は周波数 f の受信フィルタの周波数特性である。

式(3)の減衰量は、図 3-42 の送受スペクトル特性から計算した。同図の黒線と緑線が送信スペクトルの測定値であり、黒線が長パルス、緑線が短パルスを表す。また、青線が受信フィルタ特性である。

スペクトルアナライザの受信帯域 25 MHz を模擬して、中心±12.5MHz 内の減衰を 0dB、帯域外の減衰を－80dB と仮定しシミュレーションを行った。表 3-57 に測定条件を加味した場合の受信強度の理論値をまとめる。同表の上半分(離調あり)が、本検討で着目している周波数移行後の受信強度である。下半分(離調なし)は参考値であり、沿岸監視用レーダーと気象レーダーの中心周波数周波数が一致する場合の受信電力を示している。

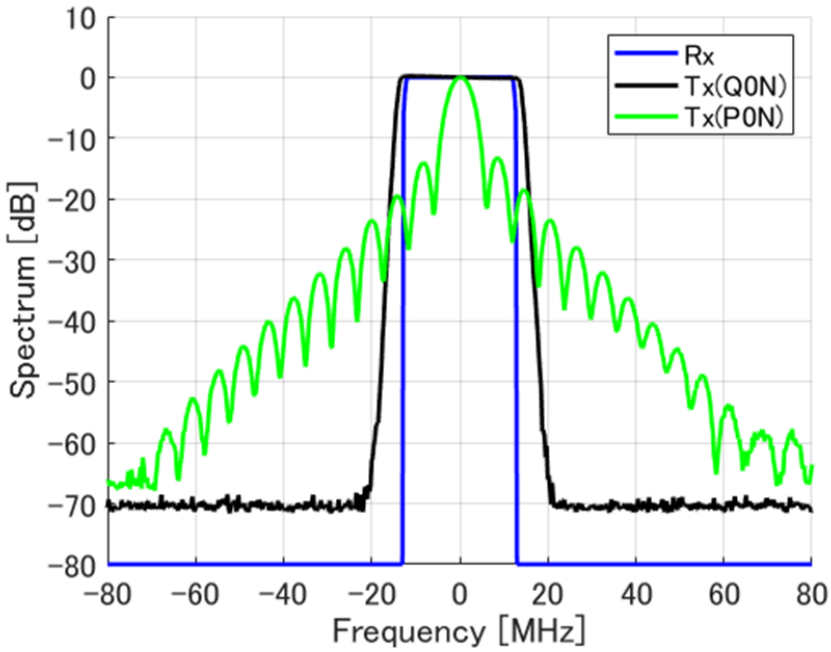


図 3-42 送受のスペクトル特性

出所)日本無線作成

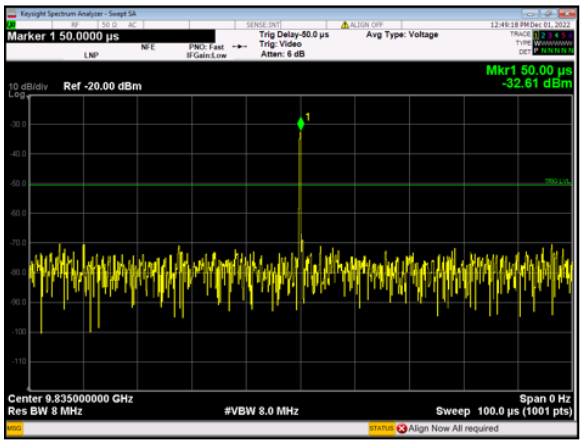
表 3-57 周波数離調時の受信強度の理論値

条件	沿岸監視用レーダー	気象レーダー	周波数離調	受信強度	項番
離調あり	短パルス	短パルス	-38.75 MHz	-56.5 dBm	(a)
		長パルス	-41.25 MHz	-58.6 dBm	(b)
	長パルス	短パルス	-68.75 MHz	-95.7 dBm	(c)
		長パルス	-71.25 MHz	-95.7 dBm	(d)
離調なし	短パルス	短パルス	1.25 MHz	-25.8 dBm	(e)
		長パルス	-1.25 MHz	-25.8 dBm	(f)
	長パルス	短パルス	1.25 MHz	-25.8 dBm	(g)
		長パルス	-1.25 MHz	-25.8 dBm	(h)

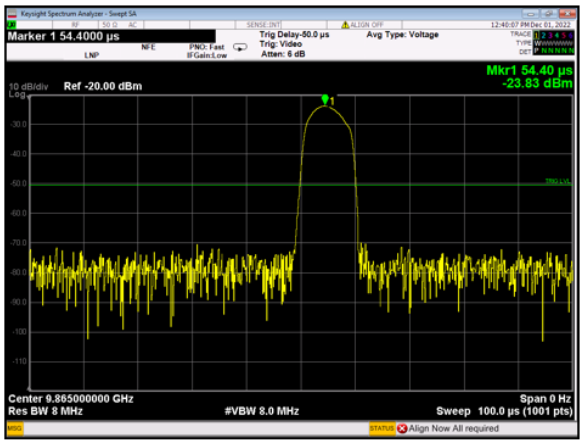
出所)日本無線作成

図 3-39 の試験環境で取得した離調なし、ありでの時間波形の測定例を図 3-43 と図 3-44 にそれぞれ示す。この図の左側は沿岸監視用レーダーの短パルス干渉を気象レーダーの短パルス用帯域で受信した場合の波形、右側は沿岸監視用レーダーの長パルス干渉を気象レーダーの短パルス用帯域で受信した場合の波形である。図 3-43 の離調なし条件について、短パルスと長パルスの受信干渉電力はそれぞれ-23.8dBm と-32.6dBm であり、理論値との差は 2dB と 6.8dB であった。また、図 3-44 の離調あり条件については、短パルスの受信干渉電力は-56.3dBm で理論値との差は 0.2dB であった。同図の長パルス干渉（図 3-44 の右側）は雑音に埋もれ測定不能だが、理論値でも測定器の雑音レベル未満であり矛盾がないことを確認できた。

以上から、図 3-43 と図 3-44 双方において、離調ありなしに関わらず測定結果と理論値との差は数デジベル程度で概ね意図した測定が行えている。



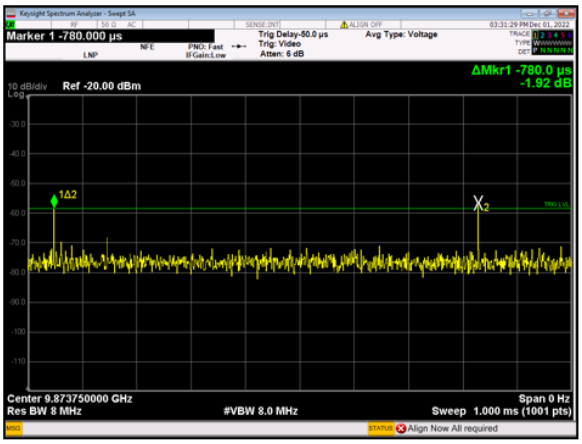
沿岸監視レーダー短パルス干渉を気象レーダーの短パルス帯域で受信



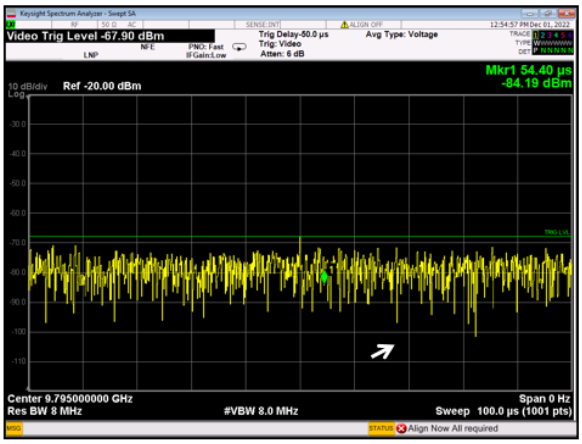
沿岸監視レーダー長パルス干渉を気象レーダーの短パルス帯域で受信

図 3-43 離調なしの受信電力測定結果(表 3-57(e)、(g))

出所）日本無線作成



沿岸監視レーダー短パルス干渉を気象レーダーの短パルス帯域で受信



沿岸監視レーダー長パルス干渉を気象レーダーの短パルス帯域で受信

図 3-44 離調ありの受信電力の測定結果(表 3-57(a)、(c))

出所）日本無線作成

図 3-44 の通り、周波数離調した干渉の信号電力は微弱で雑音に埋もれる場合もあり、屋外試験の測定値そのものを干渉源とするのは難しい。そこで本検討では、シミュレーションで生成した干渉を気象観測データに重畳する方法で評価を行う。

これにあたり、図 3-45 のように気象レーダーを模擬した受信フィルタに①屋外試験で取得した干渉 IQ ならびに②屋外試験と同一条件で生成した干渉シミュレーション信号を入力しフィルタ前後の受信レベル関係等を比較することにより、シミュレーションの妥当性を確認した。

なお、シミュレーションでは事前測定された送信スペクトル特性を参考に、図 3-46 の右に示す周波数の送信信号を形成した。

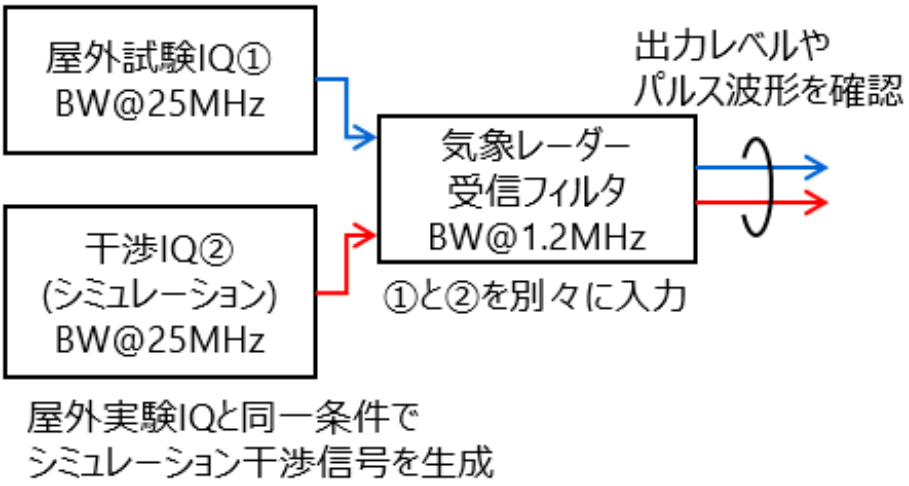


図 3-45 測定干渉信号と干渉シミュレーション信号の整合性確認

出所）日本無線作成

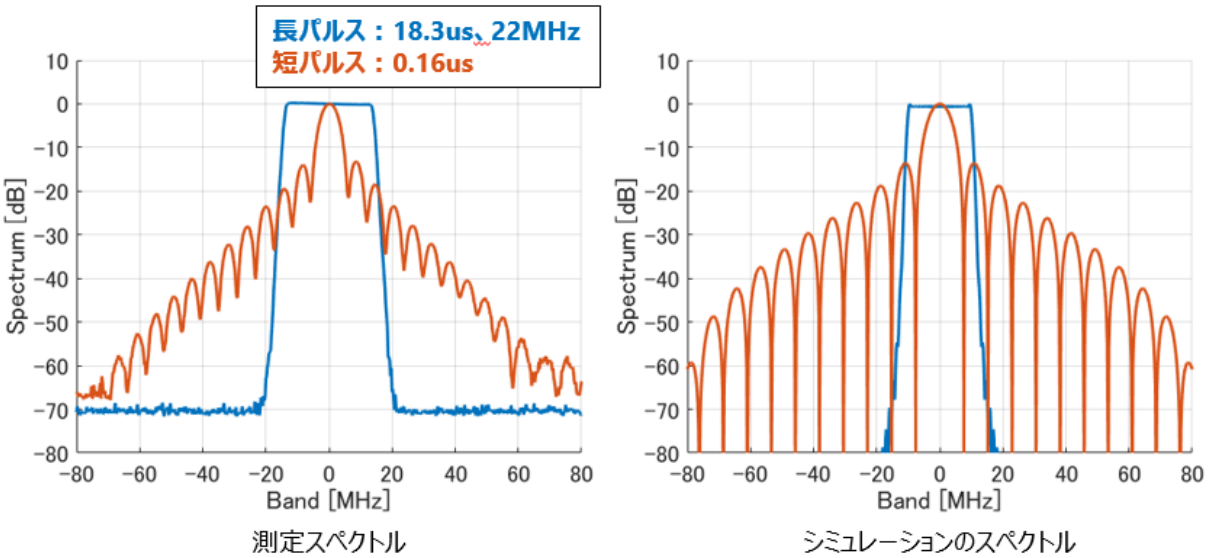


図 3-46 測定スペクトルとシミュレーションのスペクトル

出所）日本無線作成

図 3-47 から図 3-50 に気象レーダーの受信フィルタ前後の時間波形を示す。各図の左側が屋外試験で測定した干渉 IQ を用いた結果、右側がシミュレーションで生成した干渉を用いた結果であり、上段と下段がそれぞれ気象レーダーの短パルス用帯域と長パルス用帯域で受信した結果である。

図 3-47 と図 3-48 から、離調なしにおいては各図左右の電力関係やパルス幅に矛盾はなく、測定結果とシミュレーションの高い整合性が見て取れる。一方で、図 3-49 に示すフィルタ出力後の結果に

着目すると、測定結果とシミュレーション結果で差異が生じている。具体的には、左上の測定結果では短パルス帯域受信で干渉が生じ、左下の長パルス帯域受信では干渉が消失するが、シミュレーション結果では干渉の有無の条件が測定結果と逆転している。

現象を解析したところ、右上条件では受信帯域が干渉スペクトルのヌル付近に被り、干渉が消失したことが分かった。測定データでは雑音の影響で送信スペクトルのヌル位置は確認できないが、同様の現象により、左下のように干渉が消失したものと推察される。気象レーダーでは、長パルスと短パルスの帯域が2.5MHzしか離れていないため、ヌル位置の僅かな差異により干渉状態に差異が生じる。一方で、受信フィルタ帯域とヌルが被らない場合のフィルタ前後の受信電力関係の傾向は一致していることから、シミュレーションの整合性は取れていると考えられる。

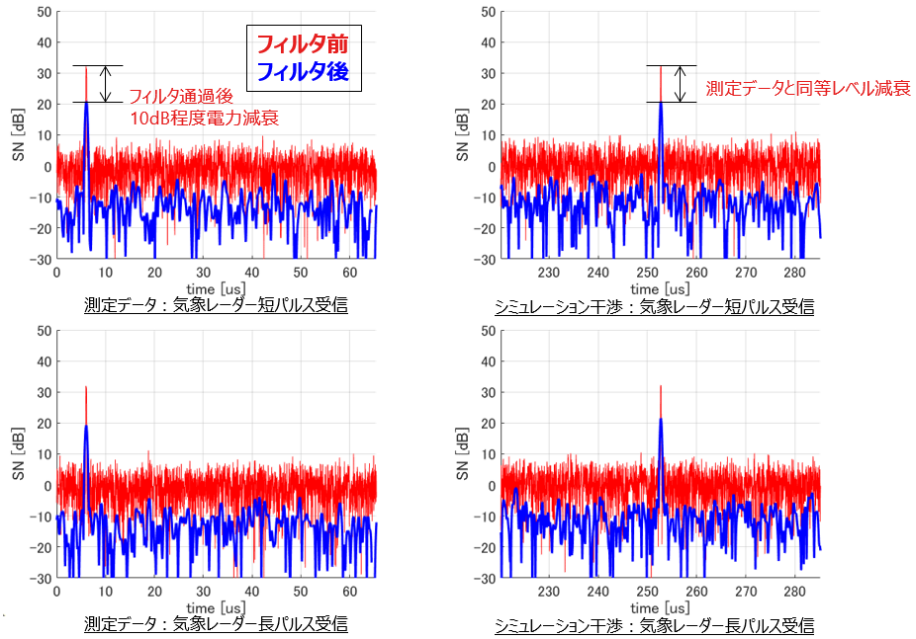


図 3-47 離調なし、沿岸:短パルス送信(表 3-57((e)、(f))

出所)日本無線作成

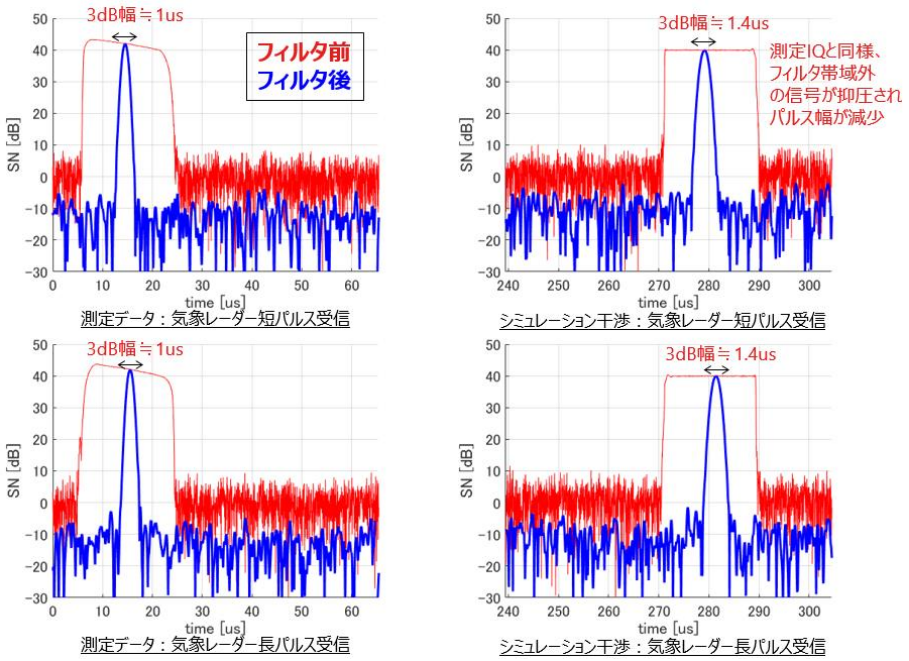


図 3-48 離調なし、沿岸：長パルス送信（表 3-57（(g)、(h)）

出所）日本無線作成

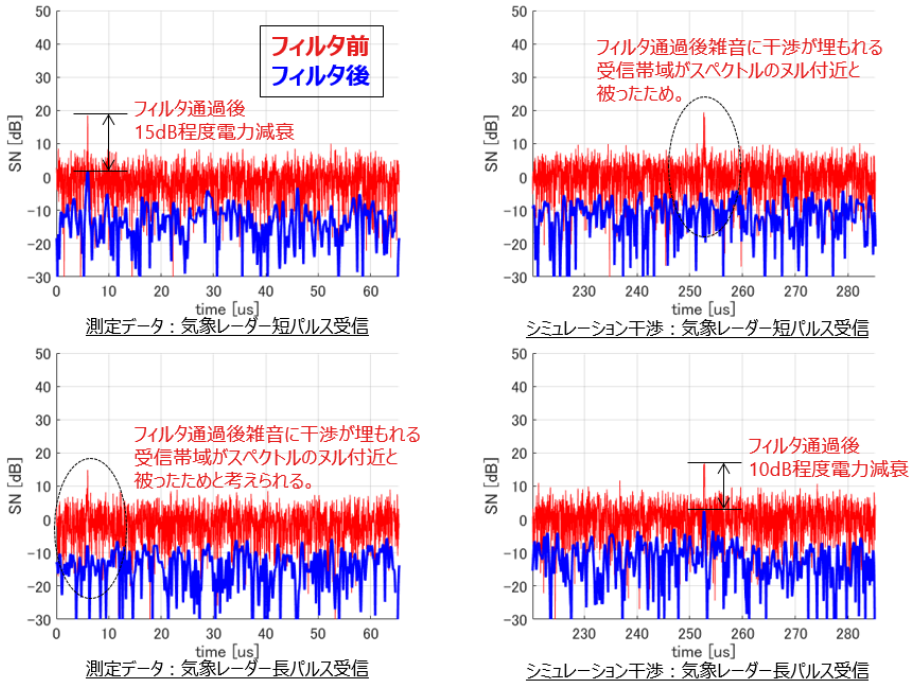


図 3-49 離調あり、沿岸：短パルス送信（表 3-57（(a)、(b)）

出所）日本無線作成

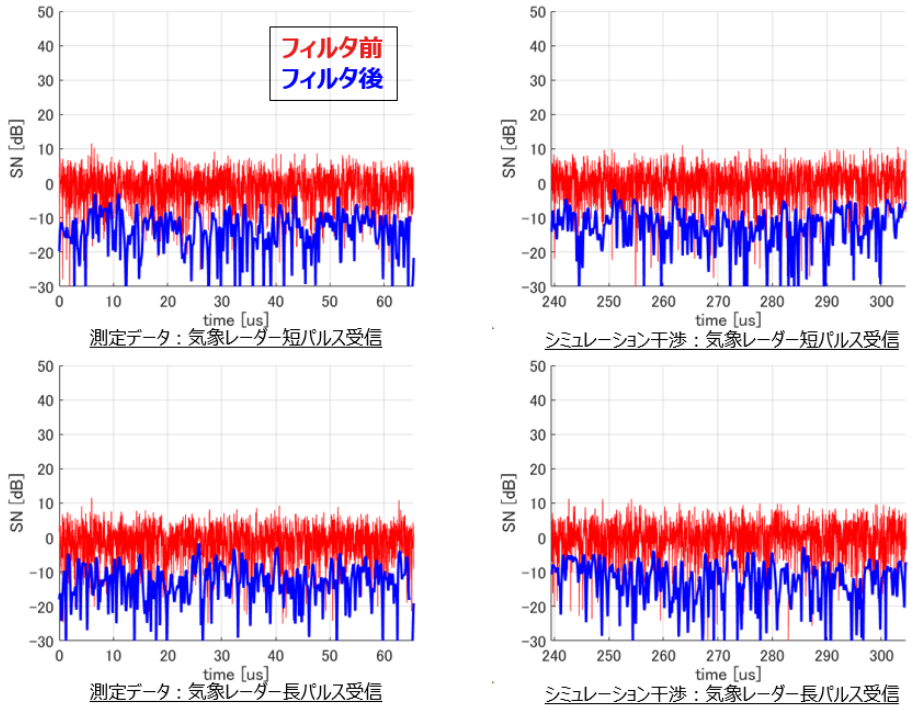


図 3-50 離調あり、沿岸：長パルス送信（表 3-57((c)、(d)）

出所）日本無線作成

4） 干渉データ解析

これまでの検討から、シミュレーションによる実伝搬干渉 IQ の高い再現性を確認でき、干渉源としてシミュレーション干渉を用いることの妥当性が示せた。以降では、高機能レーダー技術試験事務において、実際に観測したデータにシミュレーション干渉を重畳して、周波数離調による干渉影響を評価する。

まず高機能レーダー技術試験事務の試験結果の干渉状態を再現するため、干渉信号の実測値を解析しシミュレーションの干渉強度を調整した。図 3-51 に、高機能レーダー技術試験事務で観測した実干渉の強度 PPI と方位角 220deg.付近の SN（晴天時）を示す。同図は、晴天時の結果であり、純粋な干渉強度を示した。

高機能レーダー技術試験事務の試験では、沿岸監視用レーダーの長パルスの中心周波数と気象レーダーの中心周波数が一致する干渉が強い条件で実施され、メインーメイン干渉が生じる方位角約 187deg.で気象レーダー側の ADC が飽和している。今回の干渉強度調整では、ADC 飽和が生じない黒線の方位角（方位角約 220deg.）付近の観測結果を基準にレベルを調整した。同図右側が方位角 220deg.付近の受信 IQ の各ヒット SN を重ねて表示したもの（黒）とパルス圧縮等の受信処理適用後のヒット平均した SN（青）である。同図の各ヒット SN のピーク電力からシミュレーションの IN を 75 dB に決定した。

同様に図 3-52 から雨天時の干渉強度を確認した。雨天時には、干渉以外に降雨エコーやグランドクラッタエコーも見られたが、SN が 60dB 程度のパルス信号の発生間隔と干渉 PRF がほぼ一致することからこれを干渉と判断し、方位角 220deg.の干渉強度が IN=60dB 程度になるようシミュレーションを設定した。

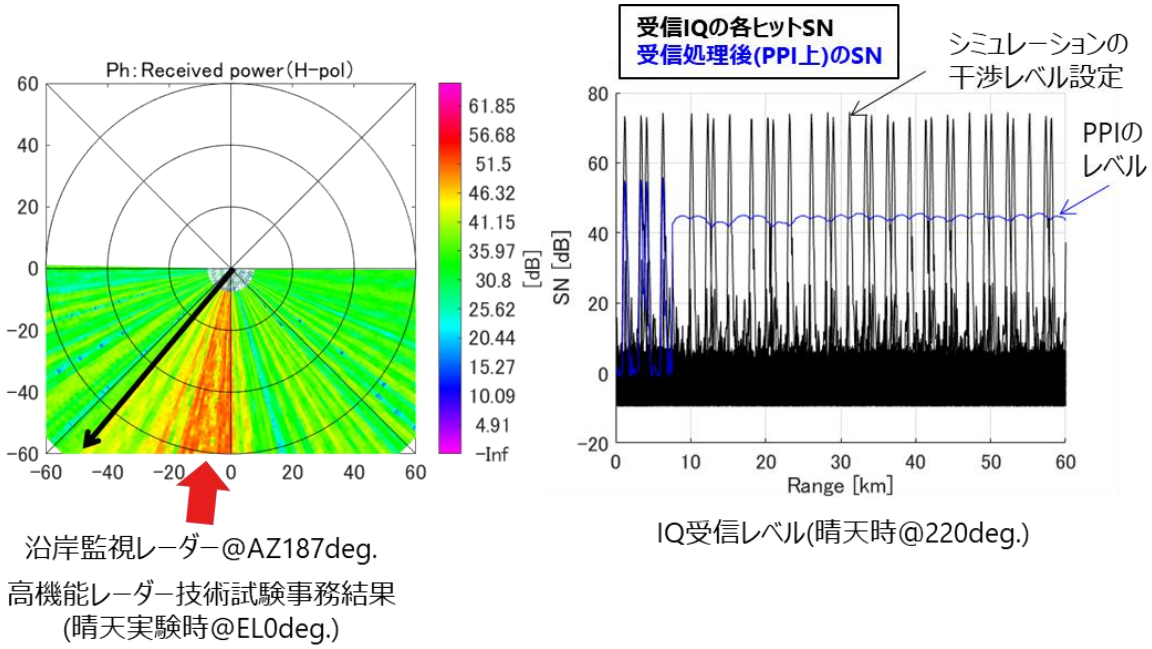


図 3-51 R3 年度高機能レーダー技術試験事務で観測した実干渉強度 PPI と
方位角 220deg.付近の SN（晴天時、仰角 0deg.）

出所）日本無線作成

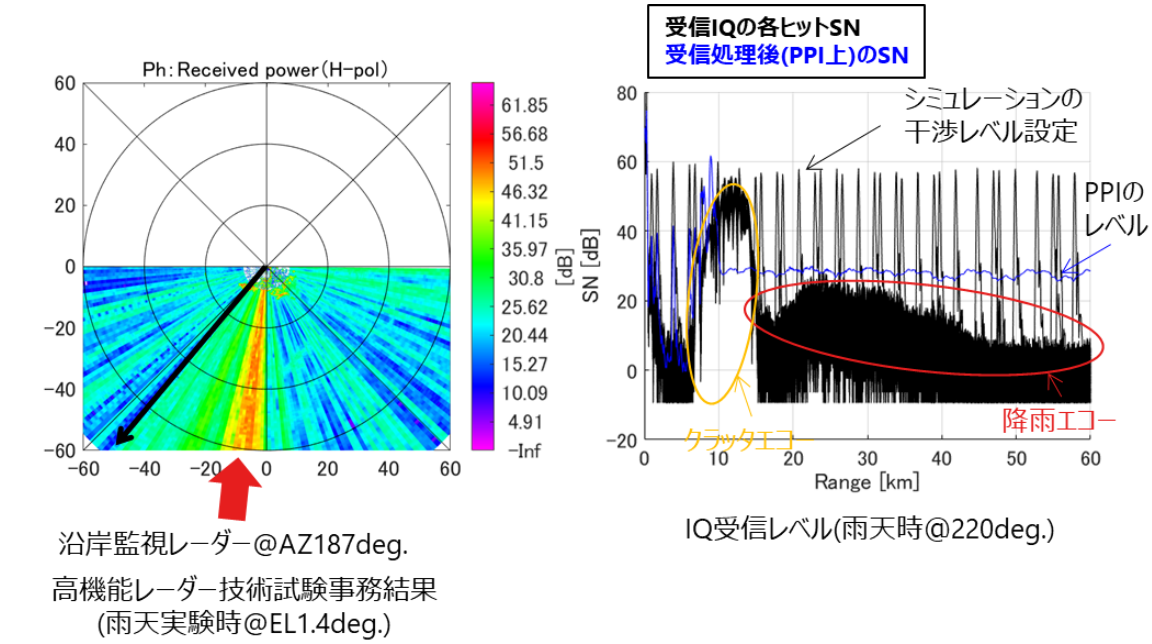


図 3-52 R3 年度高機能レーダー技術試験事務で観測した実干渉強度 PPI と
方位角 220deg.付近の SN（雨天時、仰角 1.4deg.）

出所）日本無線作成

シミュレーションでは、高機能レーダー技術試験事務の屋外試験と同様に、沿岸監視用レーダーは気象レーダーに対して方位角 187deg.に位置し、アンテナを静止して、気象レーダー方向に干渉を照射し続ける状態を模擬する。気象レーダーは、アンテナを回転しながら図 3-53 のアンテナパターンで干渉信号を受信する。アンテナパターンは表 3-53 に基づき 1st サイドローブを－20dB、ビーム幅を 2deg.

でモデル化した。そして、晴天時/雨天時で、方位 220deg.周辺の干渉強度が既述の値（晴天時：IN=75dB、雨天時：IN=60dB）になるように干渉の入力レベルを調整した。

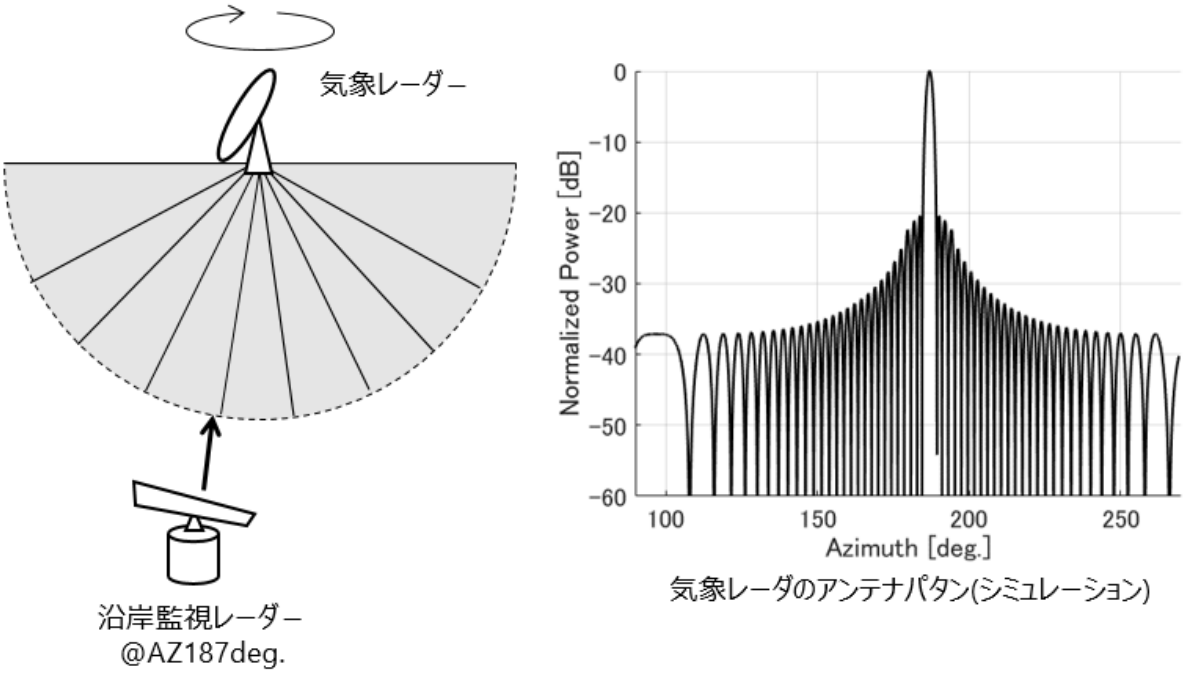


図 3-53 気象レーダーのアンテナパターンモデル（方位角）

出所）日本無線作成

5） 干渉シミュレーションによる評価

これまで述べた干渉シミュレーションを用いて評価を実施した。まず、図 3-54 (a)に示す高機能レーダー技術試験事務での周波数配置の測定結果とシミュレーションの結果を比較し、シミュレーションの妥当性を確認する。次に、同図(b)の沿岸監視用レーダーの新たな周波数配置におけるシミュレーションを実施する。

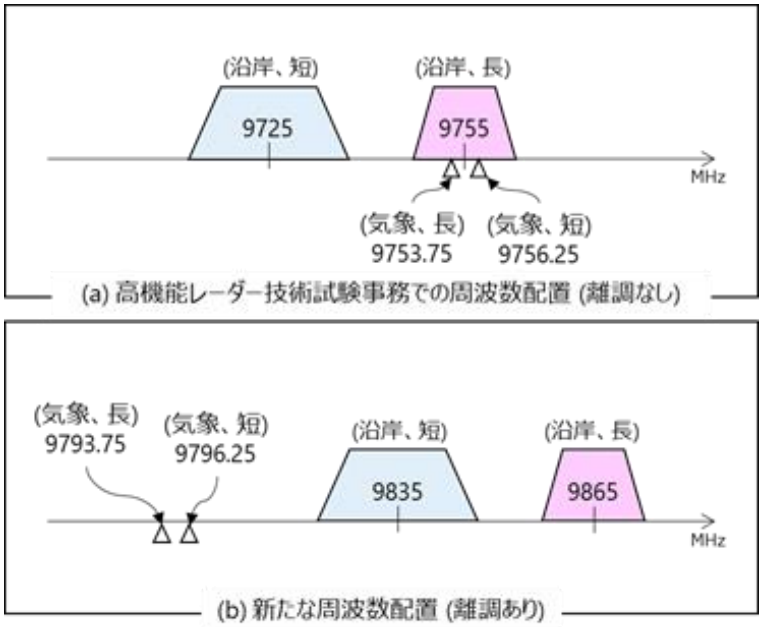


図 3-54 周波数配置

出所）日本無線作成

現行の干渉抑圧方式の概念図を図 3-55 に示す。現行の干渉除去方式では、受信ヒット毎の電力をモニタし、20dB 以上の大きな電力変動が合った場合に干渉が発生していると判断する。そして、干渉が発生したと判断された場合、隣接ヒットもしくは隣接レンジの無干渉データの振幅で干渉信号を置き換えて干渉を除去する。また現行の干渉抑圧処理では、水平・垂直偏波で独立して干渉抑圧処理を実施している。

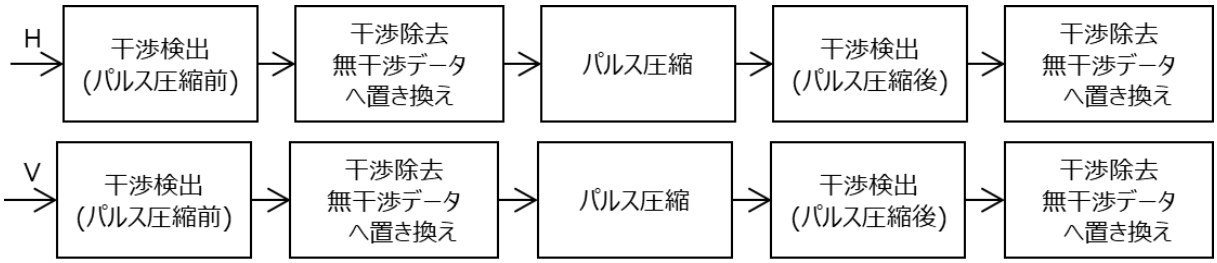


図 3-55 干渉除去の概念図(現行方式)

出所）日本無線作成

a. 高機能レーダー技術試験事務結果と干渉シミュレーションの比較

シミュレーションの妥当性を確認するため、晴天時と雨天時の干渉シミュレーション結果と高機能レーダー技術試験事務の結果を比較する。図 3-56 と図 3-57 に晴天時と雨天時の強度結果を示し、図 3-58 に雨天時の偏波間相関係数を示す。沿岸監視用レーダーのパルス諸元は表 3-54 に示すとおりである。

まず、図 3-56 の晴天時の結果に着目し干渉除去処理なしの特性について左右を比較すると、干渉強度の分布はほぼ一致しておりシミュレーションの干渉再現性が高いことが分かる。また、干渉除去処理により赤枠で囲った領域では干渉が残留し、それ以外の領域の干渉は除去できている点も一致している。既述の通り、赤枠で囲った方位角 187deg.付近はメインーメイン干渉が発生しており、気象レーダーの ADC が飽和する。ADC 飽和領域では、気象レーダーの干渉除去機能が正常動作しないため、図のような残留干渉が発生する。図 3-57 の雨天時の結果においても同様で、干渉シミュレーションと高機能レーダー技術試験事務の干渉強度結果は類似の特性を示している。

また、図 3-57 の偏波間相関係数の干渉除去処理後の特性から、赤枠で囲った ADC 飽和領域の実測結果で生じた相関低下を干渉シミュレーションでも再現できており、シミュレーションが妥当であると判断する。

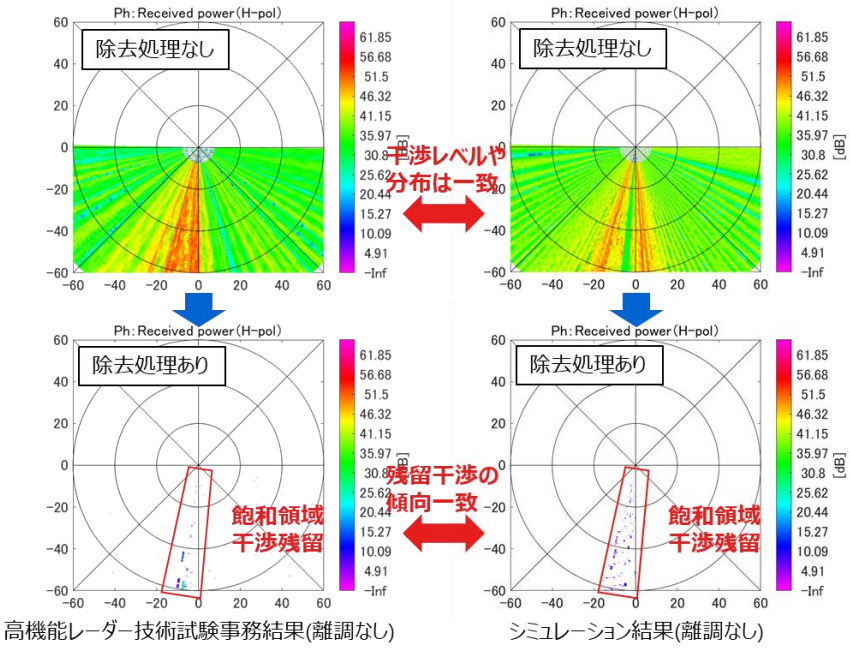


図 3-56 シミュレーションと高機能レーダー技術試験結果の比較
（晴天、強度）

出所）日本無線作成

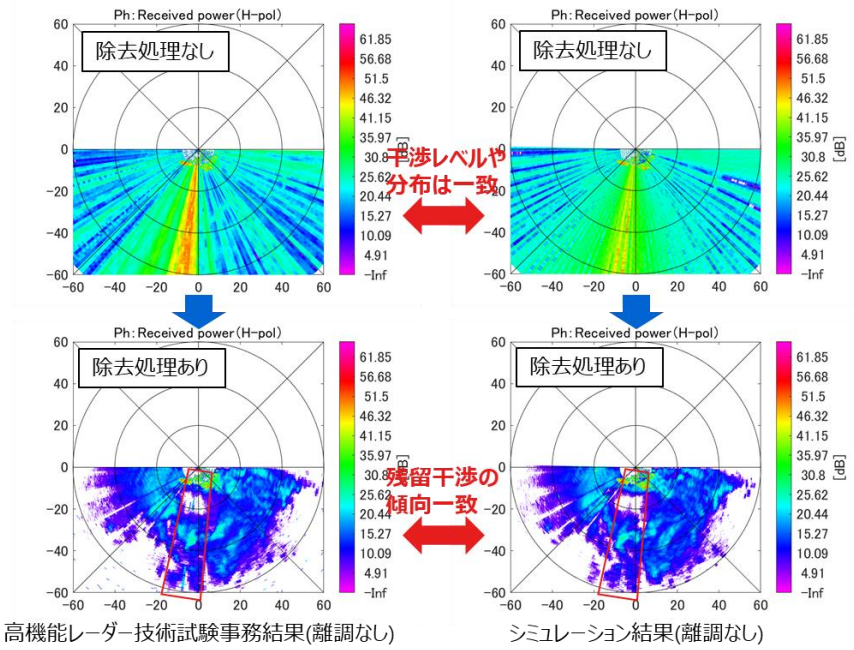


図 3-57 シミュレーションと高機能レーダー技術試験結果の比較
（雨天、強度）

出所）日本無線作成

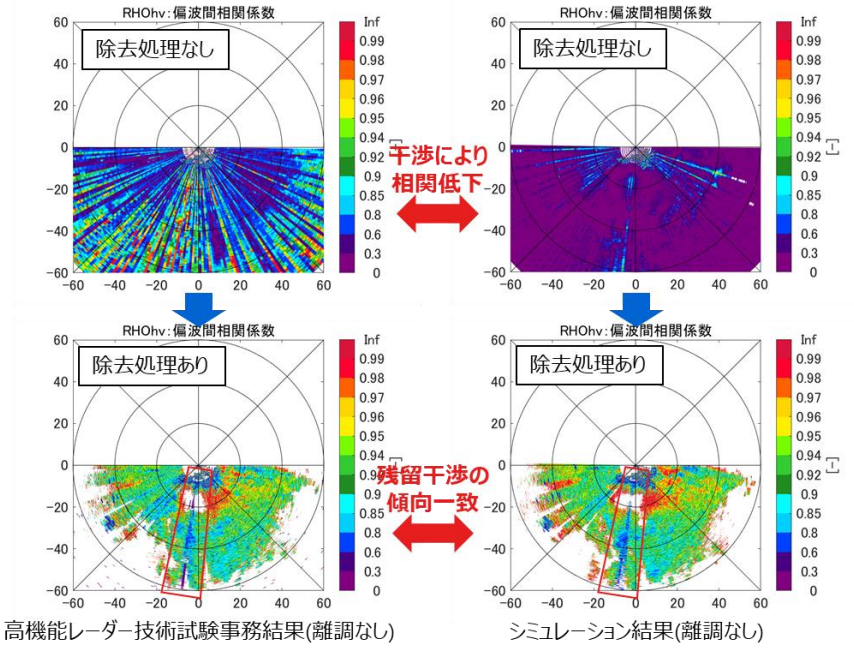


図 3-58 シミュレーションと高機能レーダー技術試験結果の比較
（雨天、偏波間相関係数）

出所）日本無線作成

表 3-58 沿岸監視用レーダーパルス諸元

パルス幅（短/長）	チャープ幅	PRF
0.16 μs / 18.3 μs	22 MHz	1280 Hz

出所）日本無線作成

b. シミュレーション干渉を用いた干渉影響評価

ア） 高機能レーダー技術試験事務と同一パルス条件（周波数離調なし）

高機能レーダー技術試験事務の屋外試験とパルス条件及び周波数関係が同一の条件（図 3-54(a)）におけるシミュレーション結果を示す。沿岸監視用レーダーのパルス諸元は表 3-58 である。

図 3-59 から図 3-61 に気象レーダーで観測する主要な単偏波情報（強度、速度、速度幅）に対する干渉除去処理有無と、無干渉降雨データの結果を示す。除去処理なしの強度結果（図 3-59 (a)）から、周波数離調がない場合、本試験環境では IN=20dB から 40dB 程度の干渉が発生し、降水エコーが完全に埋もれることがわかる。同図(b)の通り、干渉除去処理を適用することで大部分の干渉は除去されるが、既述の通り赤枠で囲った ADC 飽和領域では干渉が残留した。速度や速度幅でも同様の傾向であり、速度幅においては干渉除去処理後の ADC 飽和領域の干渉筋が視覚的に見られる。

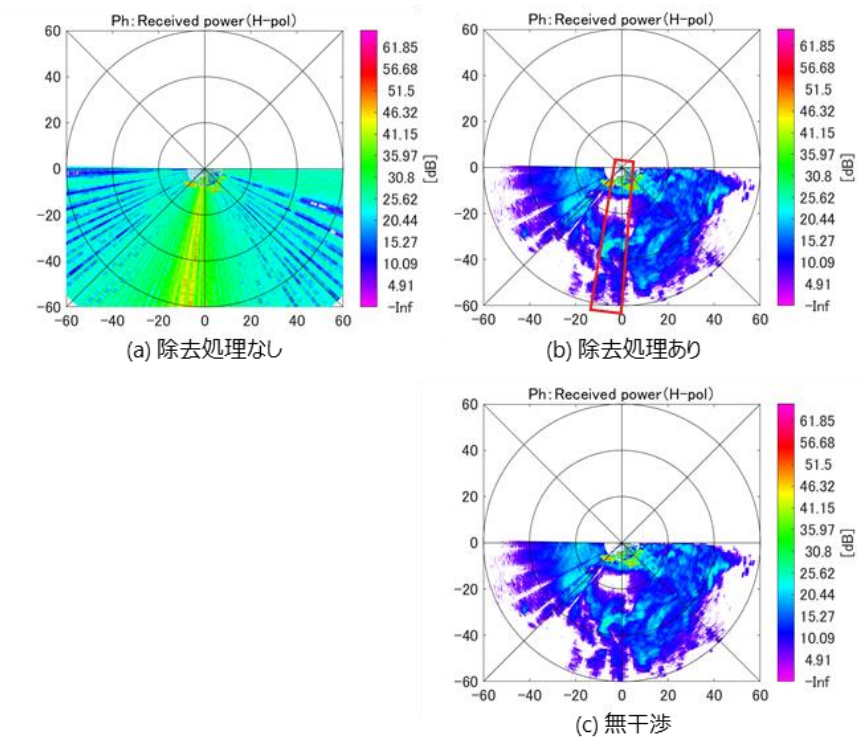


図 3-59 強度(干渉 PRF=1280Hz、周波数離調なし)

出所)日本無線作成

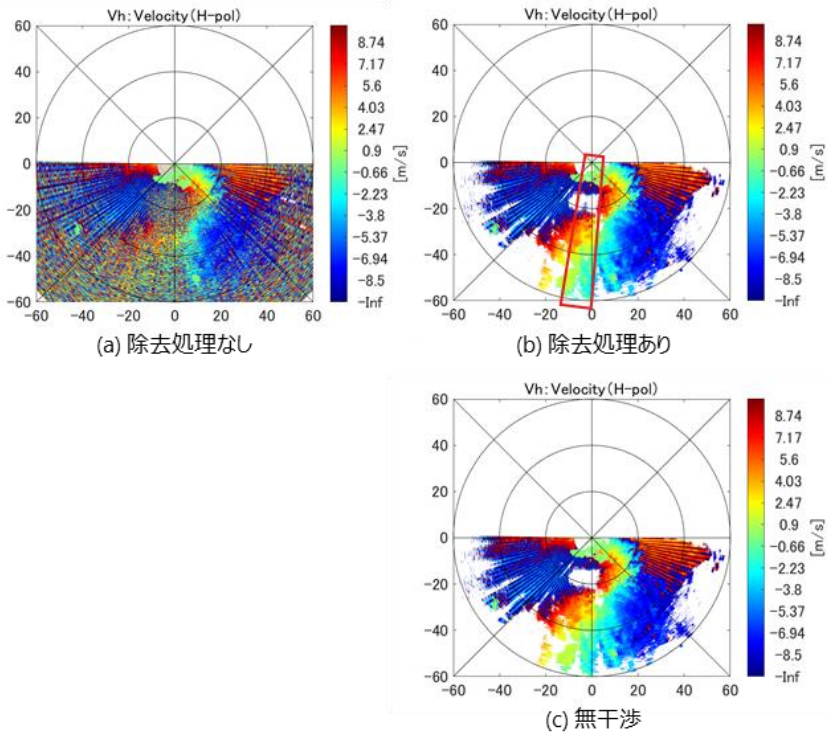


図 3-60 速度(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調なし)

出所)日本無線作成

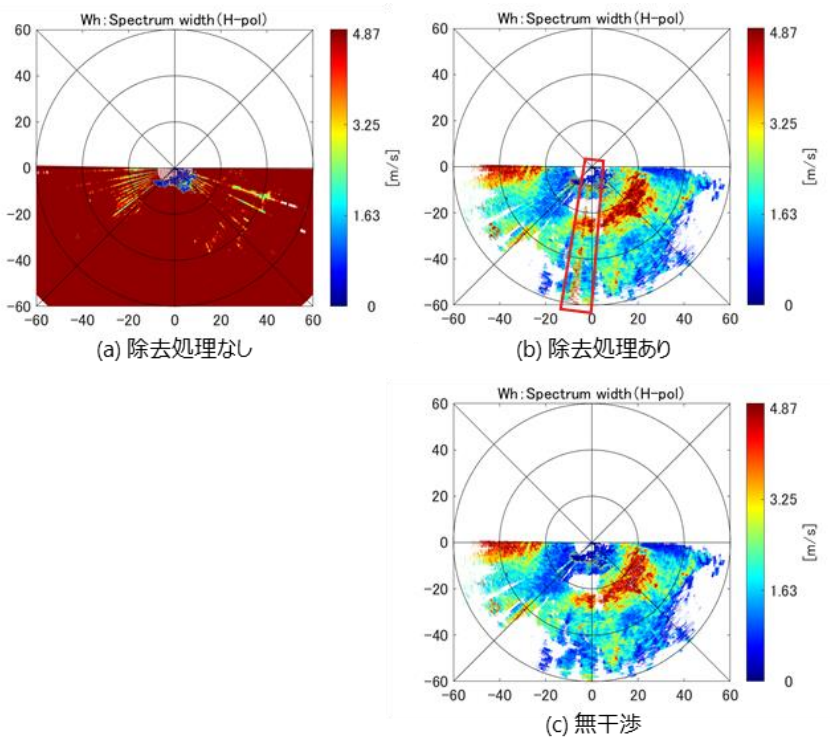


図 3-61 速度幅(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調なし)

出所)日本無線作成

図 3-62 から図 3-64 に気象レーダーで観測する主要な 2 重偏波情報（偏波間相関係数、レーダー反射因子差、偏波間位相差）に対する干渉除去処理有無と、無干渉降雨データの結果を示す。単偏波特性と同様で干渉除去処理をしない場合（各図(a)）、干渉に降水エコーが埋もれているが、除去処理を適用することで各図(b)のように大部分の干渉は除去される。一方、赤枠の ADC 飽和領域では干渉の残留により筋状の干渉が視覚的に確認された。

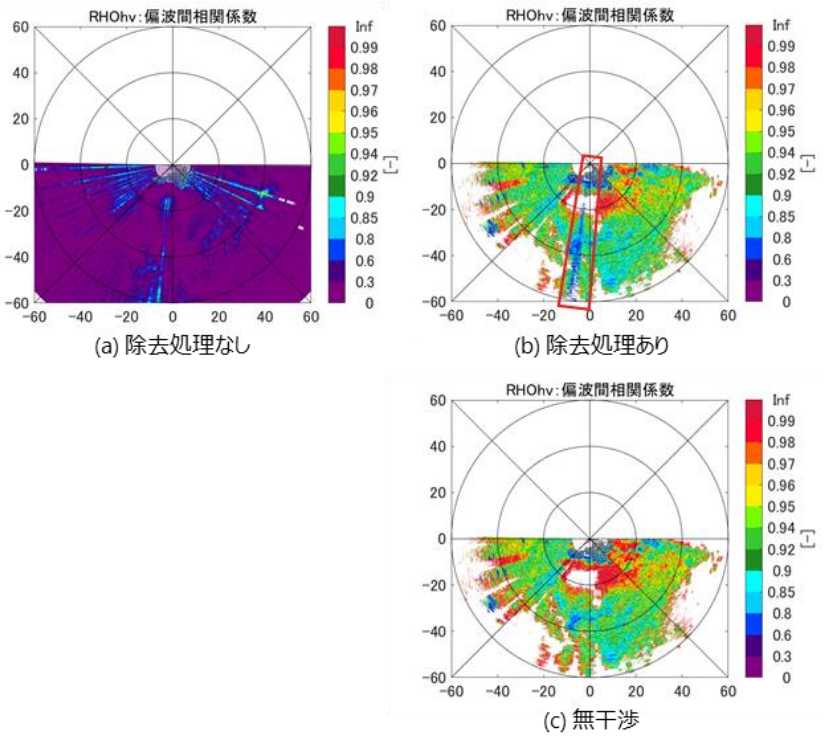


図 3-62 偏波間相関係数(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調なし)

出所)日本無線作成

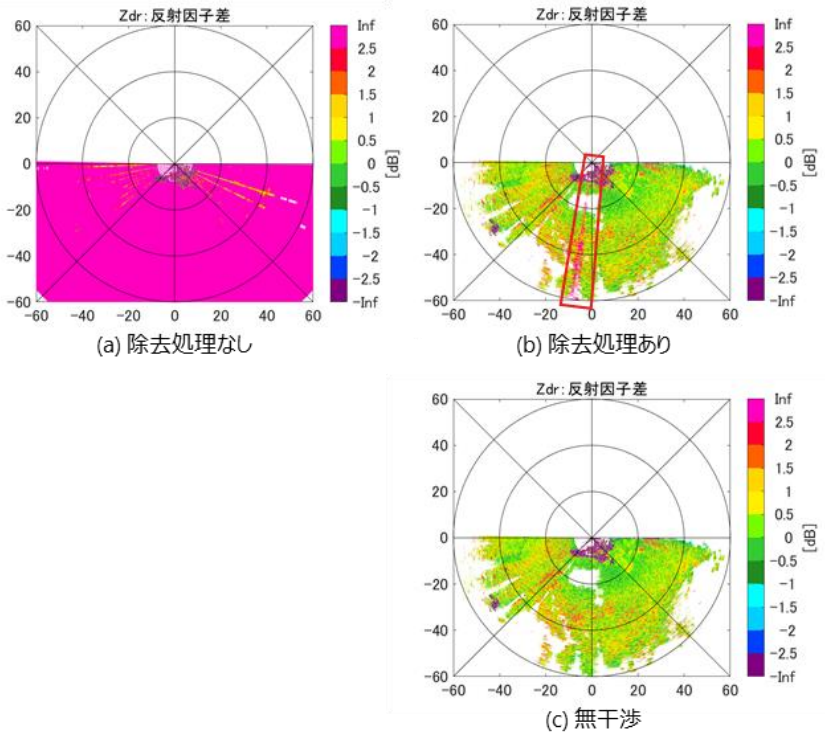


図 3-63 レーダー反射因子差(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調なし)

出所)日本無線作成

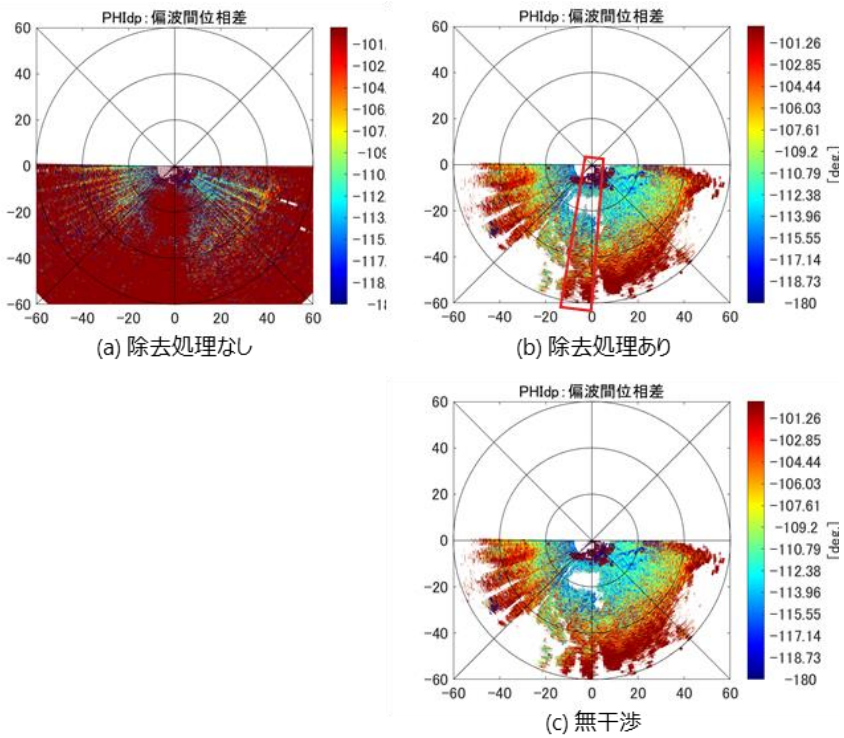


図 3-64 偏波間位相差(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調なし)

出所)日本無線作成

イ） 高機能レーダー技術試験事務と同一パルス条件（周波数離調あり）

沿岸監視用レーダーの中心周波数を 図 3-54(b)に移行した場合のシミュレーション結果を示す。沿岸監視用レーダーのパルス諸元は前節と同様に表 3-58 であり、気象レーダーとの周波数関係のみが異なっている。図 3-65 から図 3-67 に単偏波情報に対する干渉除去処理有無と、無干渉降雨データの結果を示す。

周波数離調なしの除去処理なしの強度（図 3-59(a)）と周波数離調ありの除去処理なしの強度結果（図 3-65(a))を比較すると、周波数離調しない場合に発生していた IN=20dB から 40dB 程度の干渉の大部分は雑音レベルまで低減している。

また、干渉除去処理をしない場合には、図 3-65(a)の赤枠で囲った沿岸監視用レーダー方向に筋状の干渉が僅かに残留しているが、除去処理を適用することで同一領域の干渉をほぼ除去でき（図 3-65(b))、無干渉の降雨データ（図 3-65(c))と同等の推定結果が得られている。これは、周波数を離調することで、周波数離調しない場合に生じた ADC 飽和が起こりにくくなり、干渉除去処理で適切に干渉除去しやすくなる効果を示している。速度と速度幅についても強度と同様で、干渉除去をしない場合に残留する沿岸監視用レーダー方向の干渉は、干渉除去処理によりほぼ除去できることを確認した。

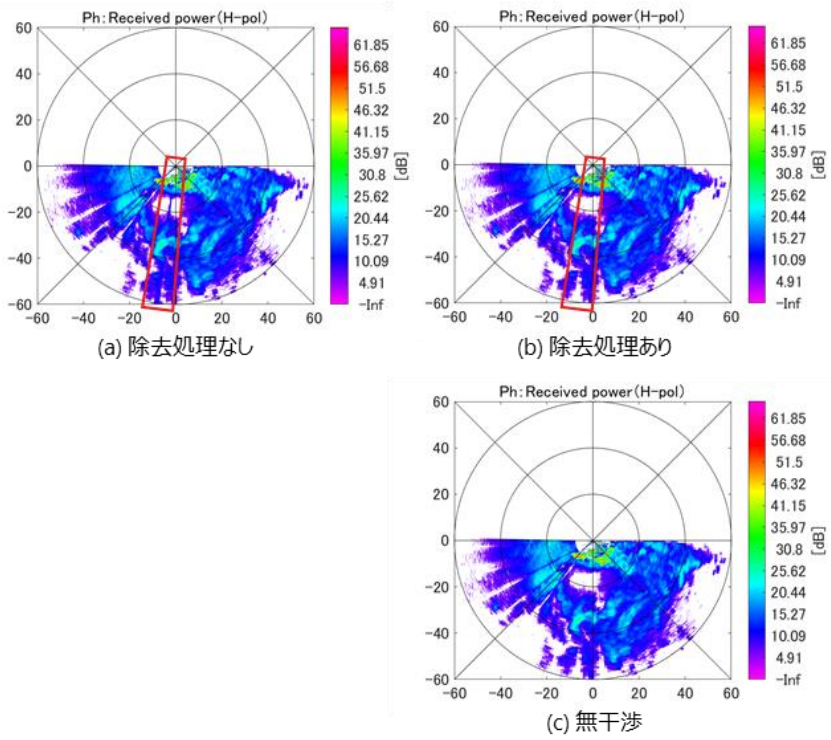


図 3-65 強度(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり)

出所）日本無線作成

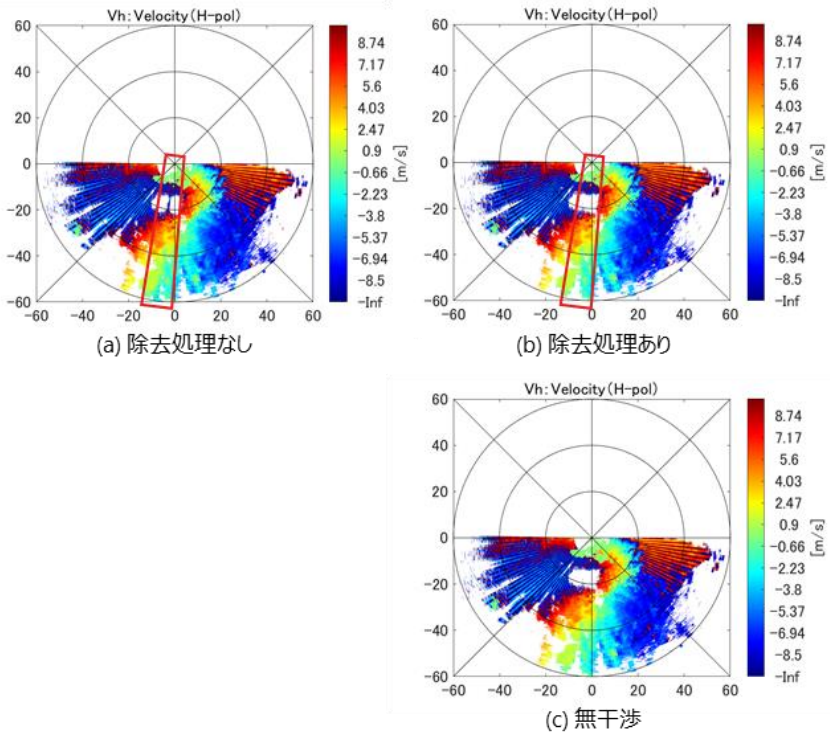


図 3-66 速度(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり)

出所)日本無線作成

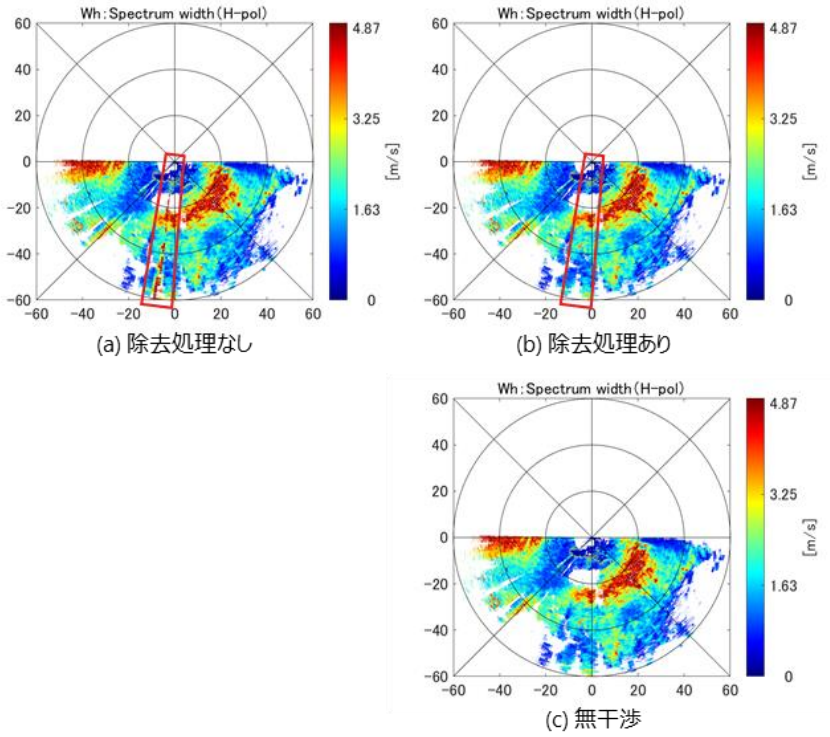


図 3-67 速度幅(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり)

出所)日本無線作成

図 3-68 から図 3-70 に 2 重偏波情報に対する干渉除去処理有無と、無干渉降雨データの結果を示す。単偏波特性に比べ 2 重偏波特性は干渉の悪影響を受けやすく、各図(a)の除去処理なしの赤枠領域で筋状の干渉が確認できる。一方で、その他の方位角については、無干渉降雨データと同等特性で干渉の影響はほぼない。また、各図(b)の通り除去処理により赤枠内の干渉は除去され、その影響を低減できている。

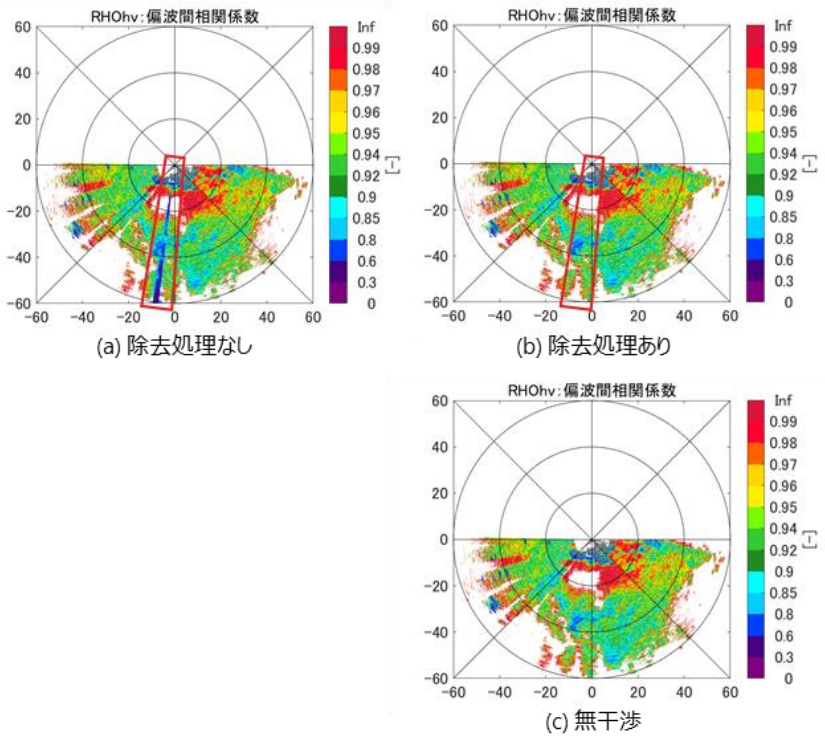


図 3-68 偏波間相関係数(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり)

出所)日本無線作成

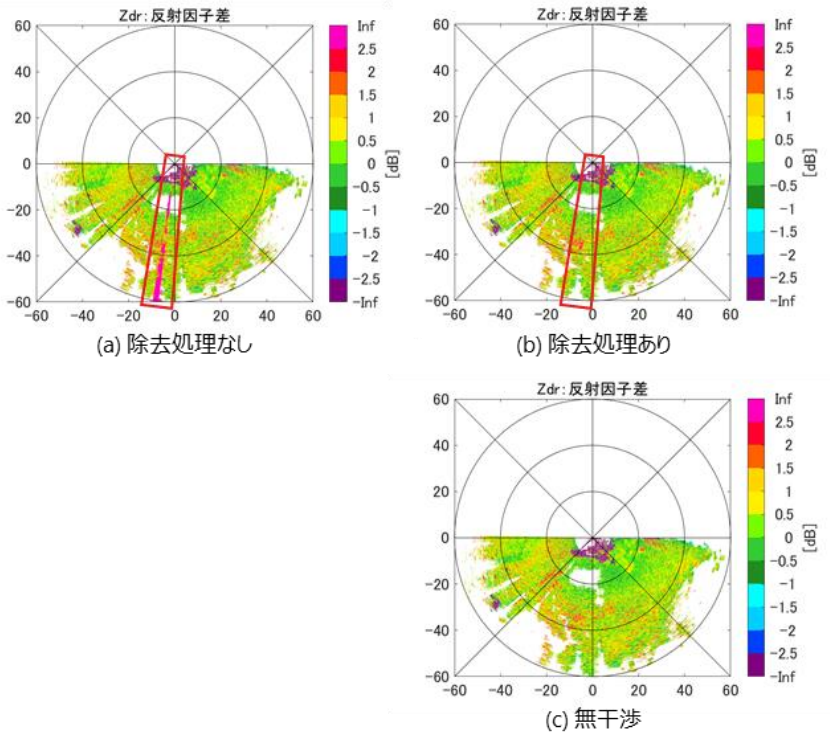


図 3-69 レーダー反射因子差(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり)

出所)日本無線作成

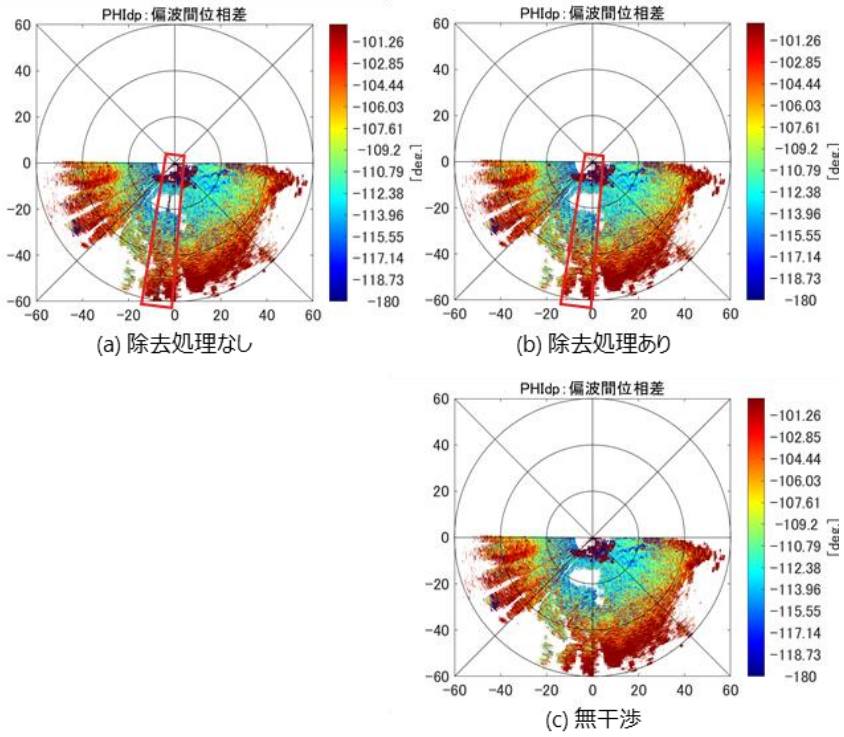


図 3-70 偏波間位相差(干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり)

出所)日本無線作成

干渉影響を定量的に評価するため、図 3-71 に無干渉降水データに対する干渉除去処理後の推定誤差の絶対値を示す。同図から、単偏波特性と 2 重偏波特性の両方で無干渉降雨データに対して誤差が著しく増加する領域はなく、干渉除去処理により適正に干渉を除去できていることが分かる。表 3-59 に周波数離調した場合としない場合の誤差分布の分散値をまとめる。周波数離調の有無による各降水パラメータの誤差を比較すると、周波数離調により、いずれも誤差を低減できている。

一方で、図 3-71 の赤枠で囲った沿岸監視用レーダー方向については誤差が増加傾向であり、干渉強度によっては、さらなる悪影響増大が懸念されるため、周波数を離調した場合にも干渉状態によっては事業者同士で協議しながら運用することが望ましいと考えられる。

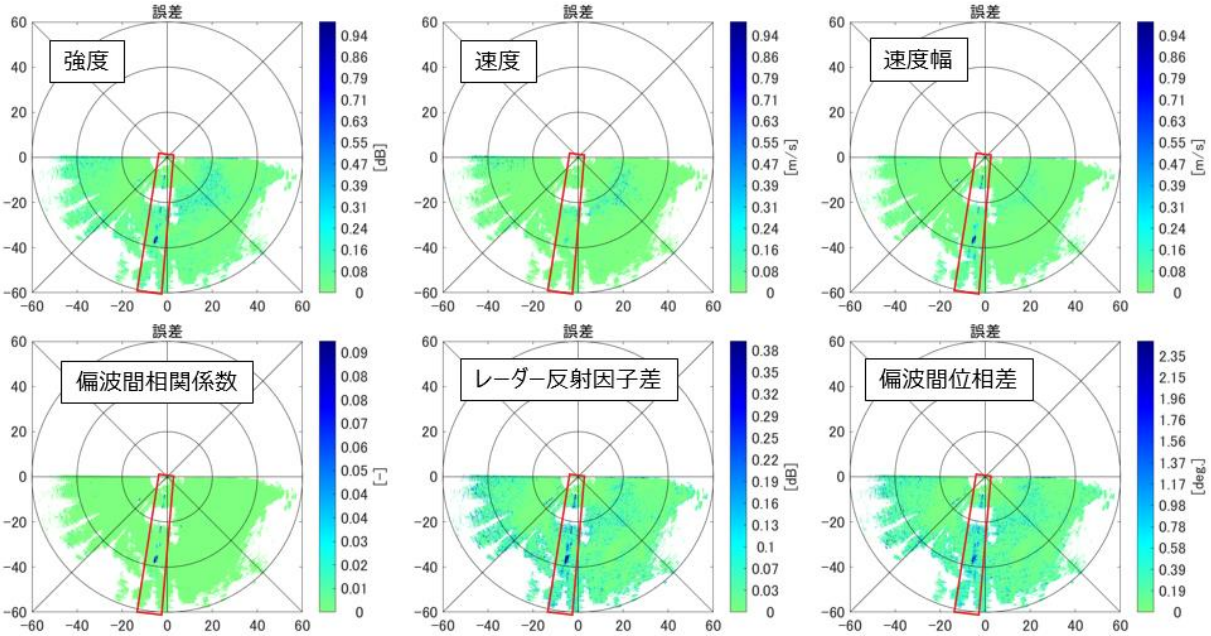


図 3-71 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差特性
（干渉 PRF＝1280Hz、周波数離調あり）

出所）日本無線作成

表 3-59 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差分布の分散値

パラメータ	周波数離調あり	周波数離調なし
強度	0.10 dB	0.35 dB
速度	0.10 m/s	0.18 m/s
速度幅	0.07 m/s	0.42 m/s
偏波間相関係数	0.007	0.037
レーダー反射因子差	0.07 dB	0.22 dB
偏波間位相差	0.38 deg.	1.20 deg.

出所）日本無線作成

ウ） 9,800MHz 帯向けの沿岸監視用レーダーの新パルス条件

ここでは、新たに検討中の沿岸監視用レーダー条件について、干渉が最も強いと想定される表 3-60 の評価を実施する。9,800MHz 帯では、最大送信電力が 700W となる可能性がある。シミュレーションでは、干渉電力をこれまでの 3.5 倍(=700W/200W)にし送信電力の増大を模擬した。

表 3-60 9,800MHz 帯向けの沿岸監視用レーダーの新パルス条件

送信電力	パルス幅（短/長）	チャープ幅	PRF
700W	0.07 μs / 30 μs	22 MHz	3,500 Hz

出所）日本無線作成

図 3-72 から図 3-77 に単偏波情報と 2 重偏波情報に対する干渉除去処理有無と、無干渉降雨データの結果を示す。図 3-72(a)の干渉除去処理なし特性に着目すると、前述の従来の沿岸監視用レーダーのパルス条件を用いる場合（図 3-65(a))に比べ、赤枠方向の干渉電力が約 10dB 増加している。これは、新パルス条件では、送信電力が 3.5 倍に増加したことに加え、干渉 PRF が 2.7 倍になり干渉頻度が増えたためである。同図(b)のように干渉除去処理を適用することで赤枠方向の干渉はほぼ消失し、新パルス条件においても干渉除去処理が適切に機能し、干渉影響を緩和可能なことが確認できた。その他の特性も同様の傾向であり、特に干渉影響を受けやすい 2 重偏波特性においては、除去処理適用前には干渉筋が明確に生じているが、除去処理を適用することで、いずれの特性でもその悪影響を低減していると考える。

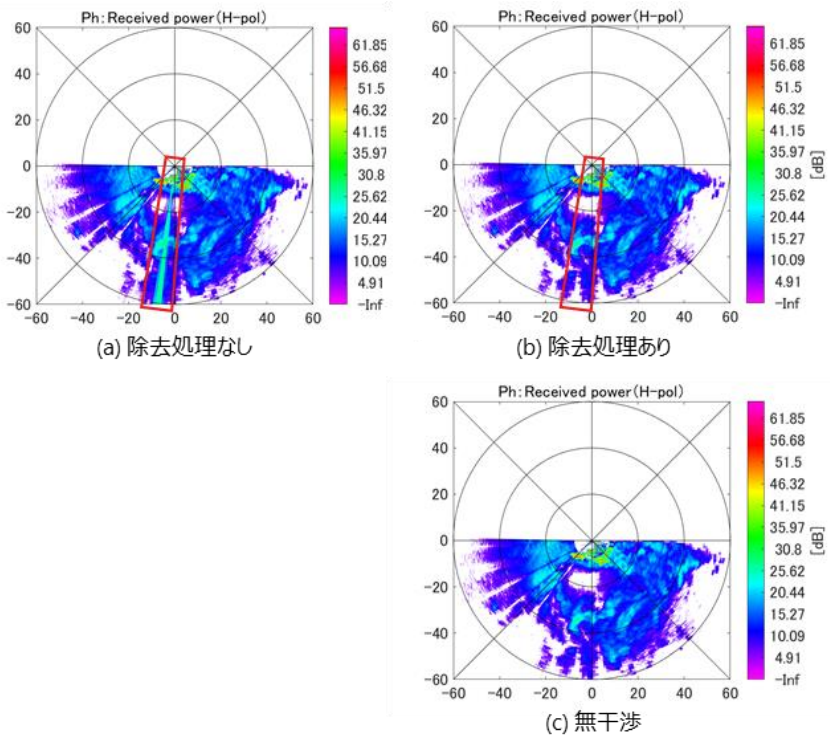


図 3-72 周波数離調時の強度(干渉 PRF＝3,500Hz)

出所）日本無線作成

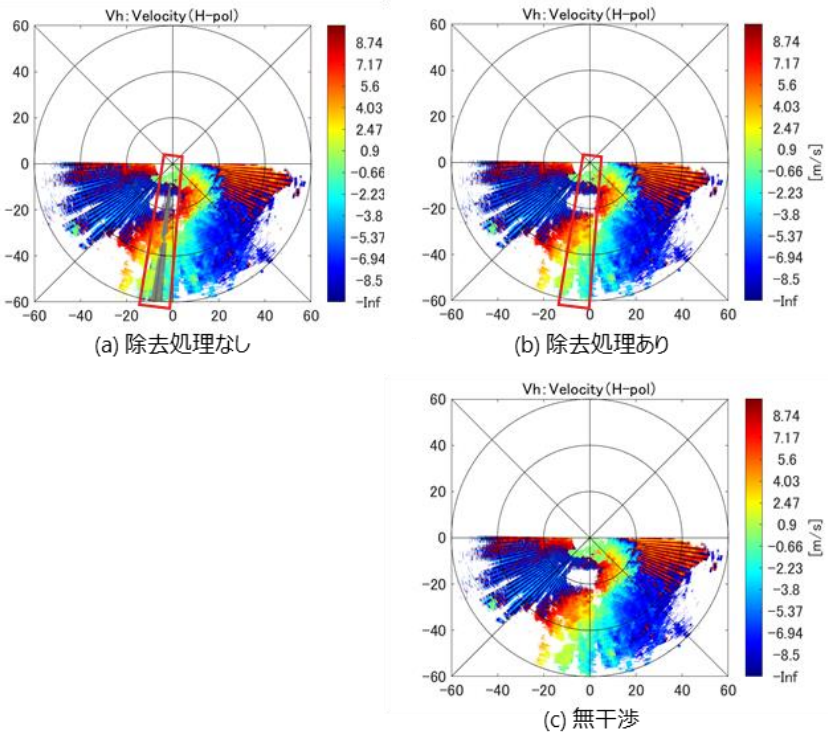


図 3-73 周波数離調時の速度(干渉 PRF＝3,500Hz)

出所)日本無線作成

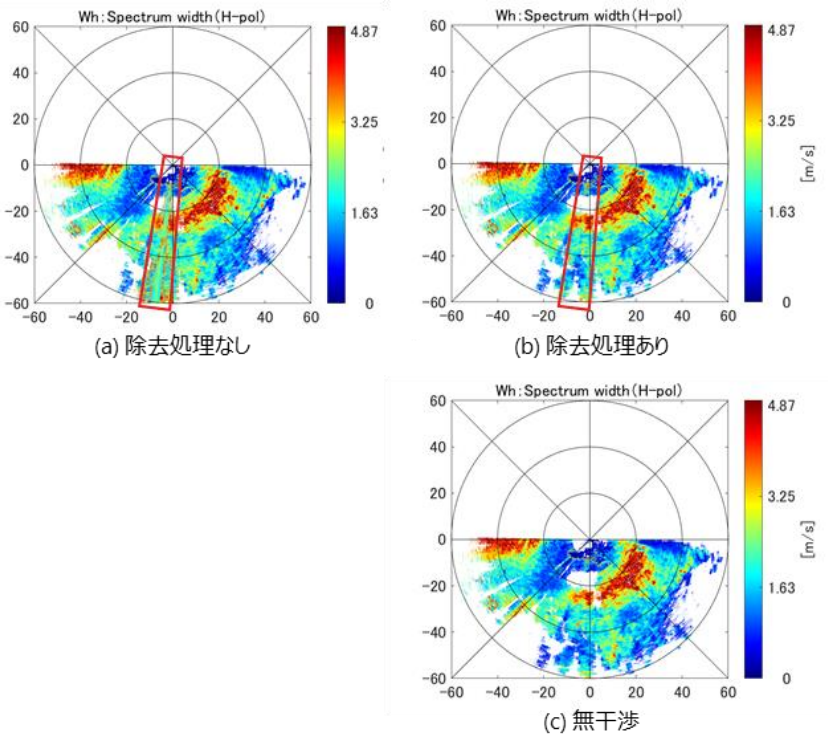


図 3-74 周波数離調時の速度幅(干渉 PRF＝3,500Hz)

出所)日本無線作成

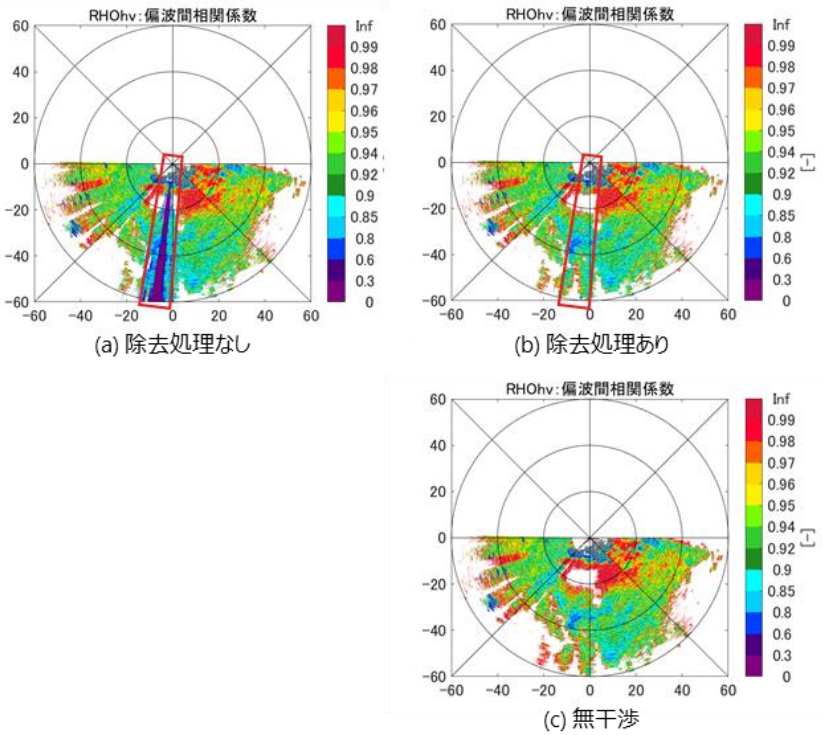


図 3-75 周波数離調時の偏波間相関係数（干渉 PRF＝3,500Hz）

出所）日本無線作成

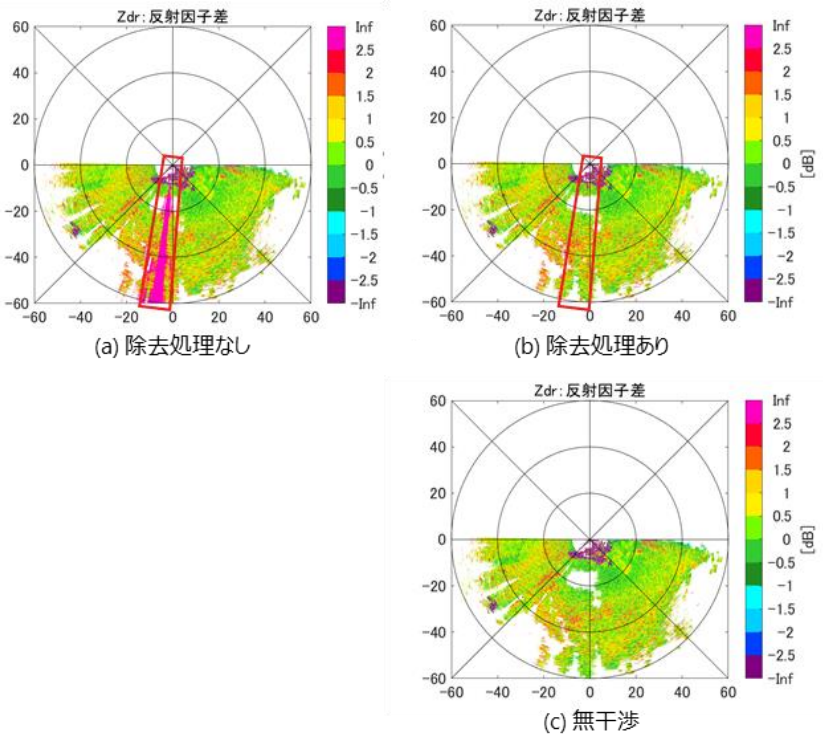


図 3-76 周波数離調時のレーダー反射因子差（干渉 PRF＝3,500Hz）

出所）日本無線作成

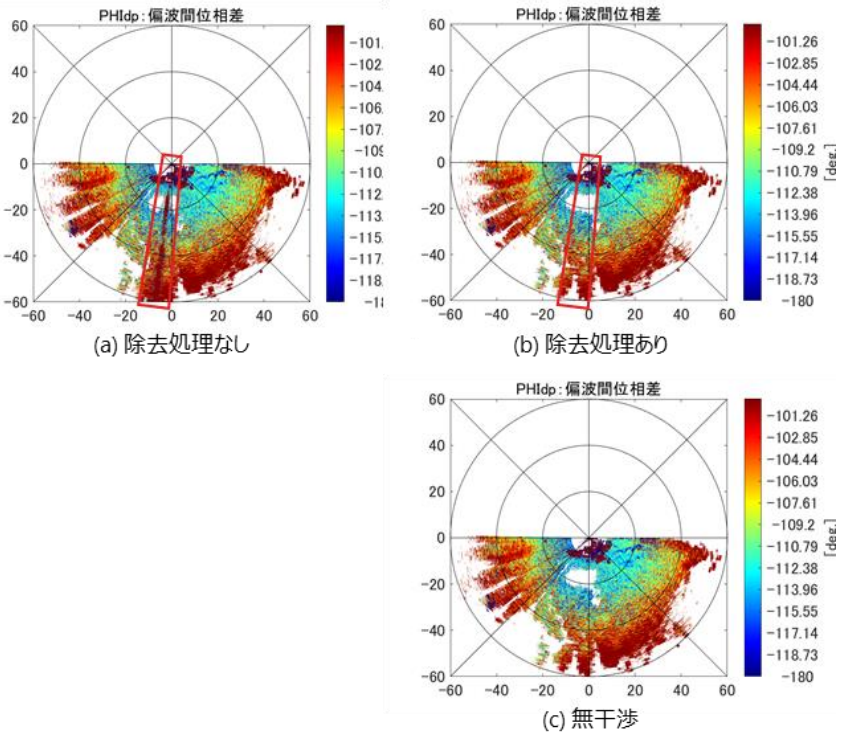


図 3-77 周波数離調時の偏波間位相差(干渉 PRF＝3,500Hz)

出所)日本無線作成

図 3-78と表 3-61に無干渉降水データに対する干渉除去処理後の推定誤差の絶対値と誤差分布の分散値を示す。図 3-78から、従来の沿岸監視用レーダーのパルス条件の結果（図 3-71）に比べ全体的に干渉除去処理後の推定誤差が増大することを確認した。一方で、表 3-59 の周波数離調なしに比べると、新パルス条件での誤差改善が見られ、周波数離調により送信電力や干渉PRFの増大の悪影響を緩和できることを示せた。

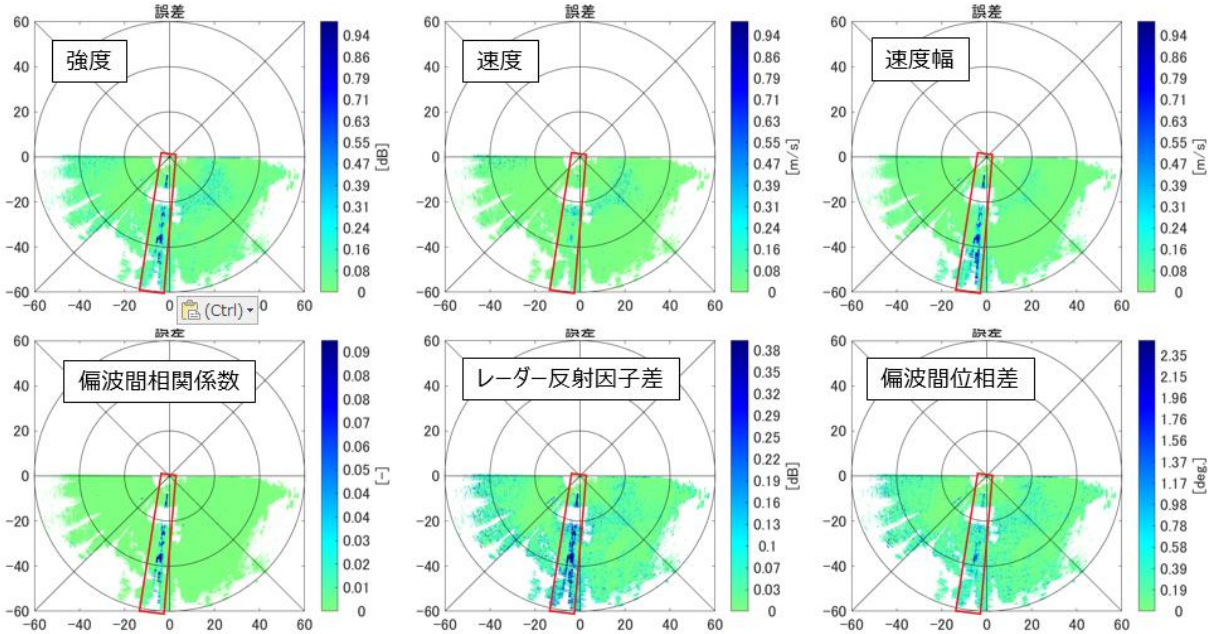


図 3-78 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差特性（干渉 PRF＝3,500Hz）

出所）日本無線作成

表 3-61 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差分布の分散値

パラメータ	周波数離調あり
強度	0.18 dB
速度	0.18 m/s
速度幅	0.21 m/s
偏波間相関係数	0.018
レーダー反射因子差	0.15 dB
偏波間位相差	0.71 deg.

出所）日本無線作成

エ） 9,800MHz 帯向けの沿岸監視用レーダーの新パルス条件（沿岸監視用レーダーの短パルスと長パルスの周波数を入れ替えた場合）

沿岸監視用レーダーの短パルススペクトルは長パルススペクトルより裾が広がっており、他帯域への与干渉を大きくする。ここでは、気象レーダーへの与干渉低減を狙い、図 3-79 のように短パルスと長パルスの周波数を入れ替えた場合を評価する。以降では、これを H 配置、従来配置を L 配置と記述する。

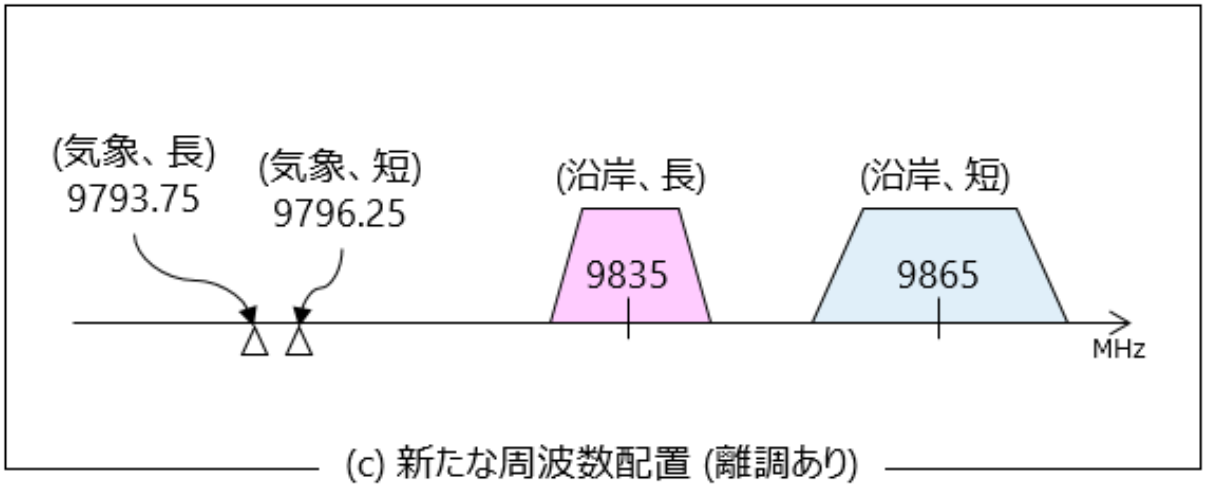


図 3-79 沿岸監視用レーダーの短パルスと長パルスの周波数を入れ替えた配置（H 配置）
出所）日本無線作成

図 3-80 から図 3-85 に単偏波情報と 2 重偏波情報に対する干渉除去処理有無と、無干渉降雨データの結果を示す。図 3-80(a)の H 配置での干渉除去処理なし特性と図 3-72(a)での L 配置の干渉除去処理なし特性を比較すると、H 配置では赤枠の干渉筋が消失していることが分かる。また、干渉の悪影響の大きい 2 重偏波特性においても、H 配置では干渉除去処理がなくとも干渉はほとんど見えず、周波数入れ替えによる干渉低減の有効性を確認できる。

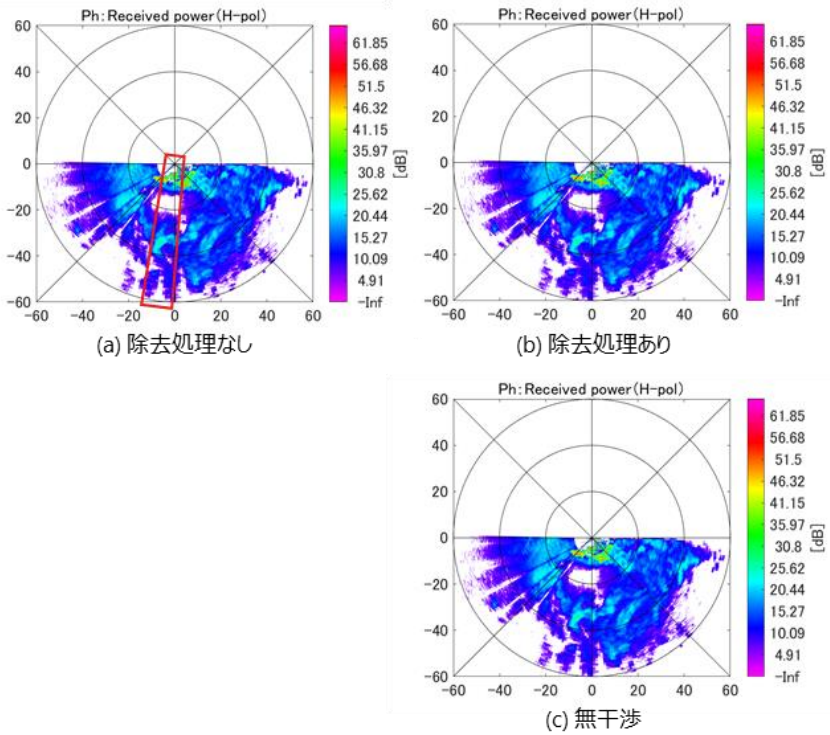


図 3-80 周波数離調時の強度(干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置)

出所)日本無線作成

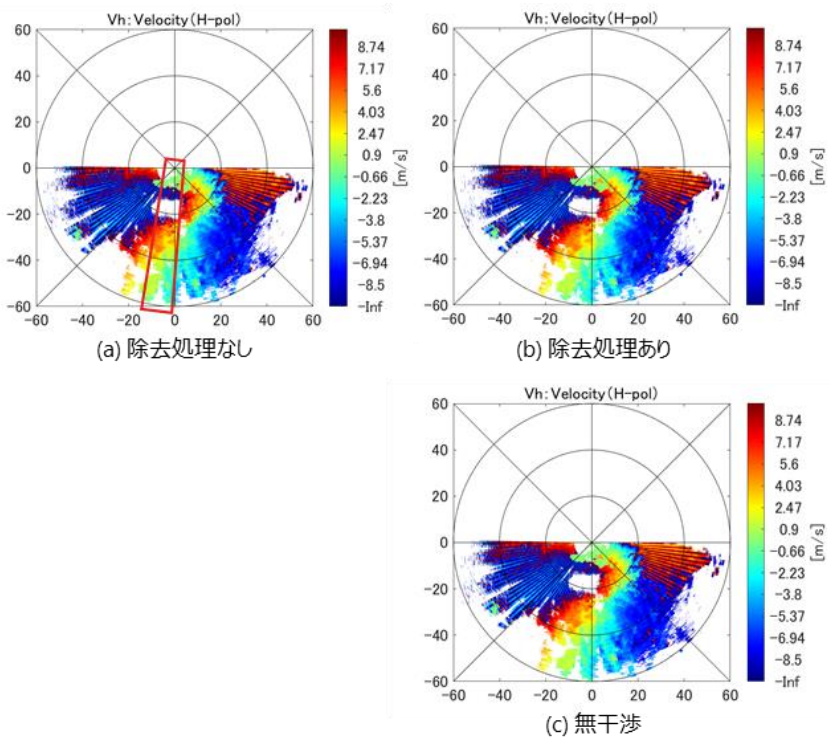


図 3-81 周波数離調時の速度(干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置)

出所)日本無線作成

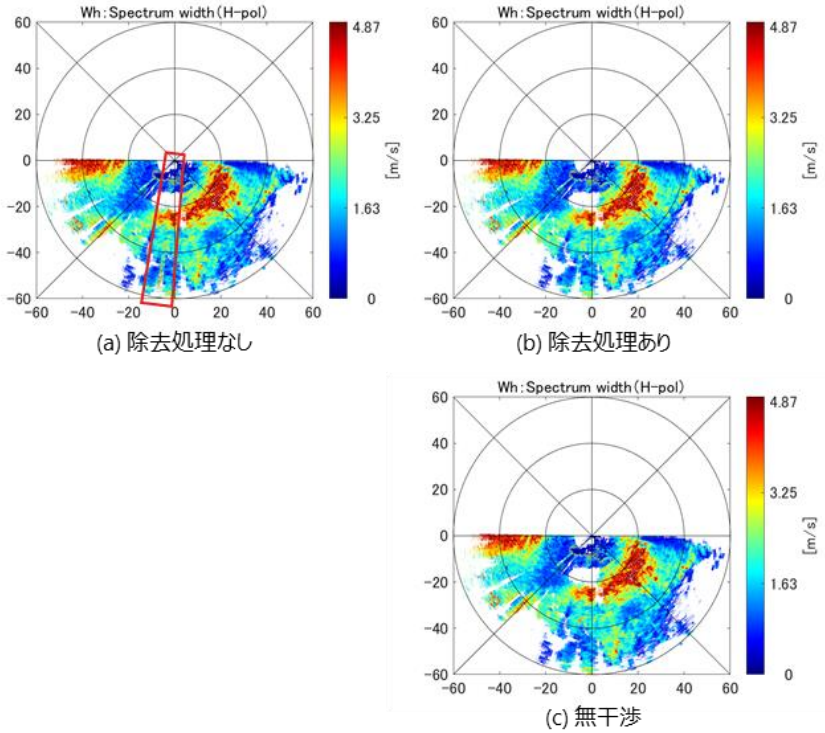


図 3-82 周波数離調時の速度幅(干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置)

出所)日本無線作成

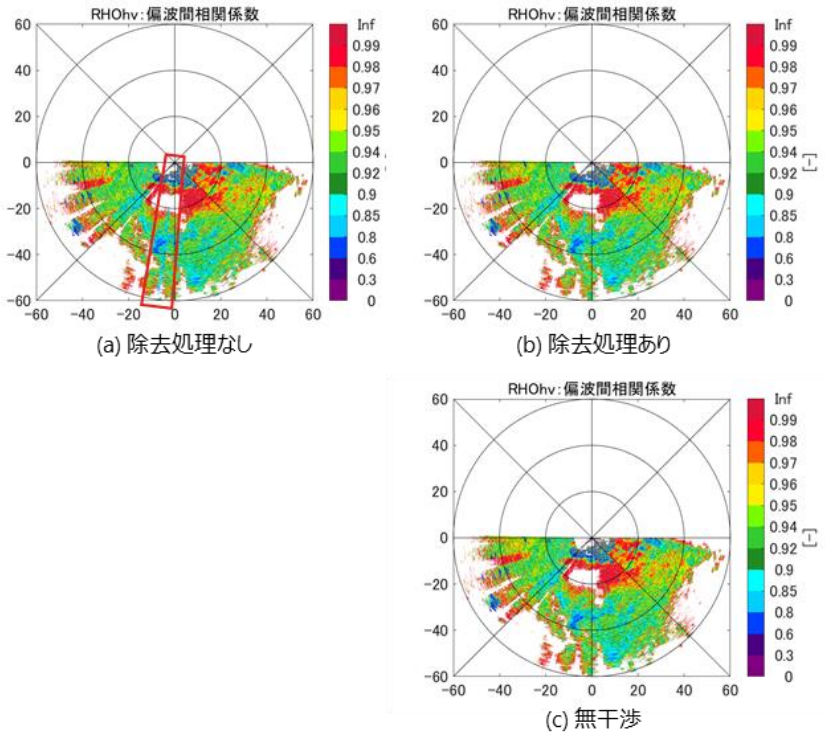


図 3-83 周波数離調時の偏波間相関係数(干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置)

出所)日本無線作成

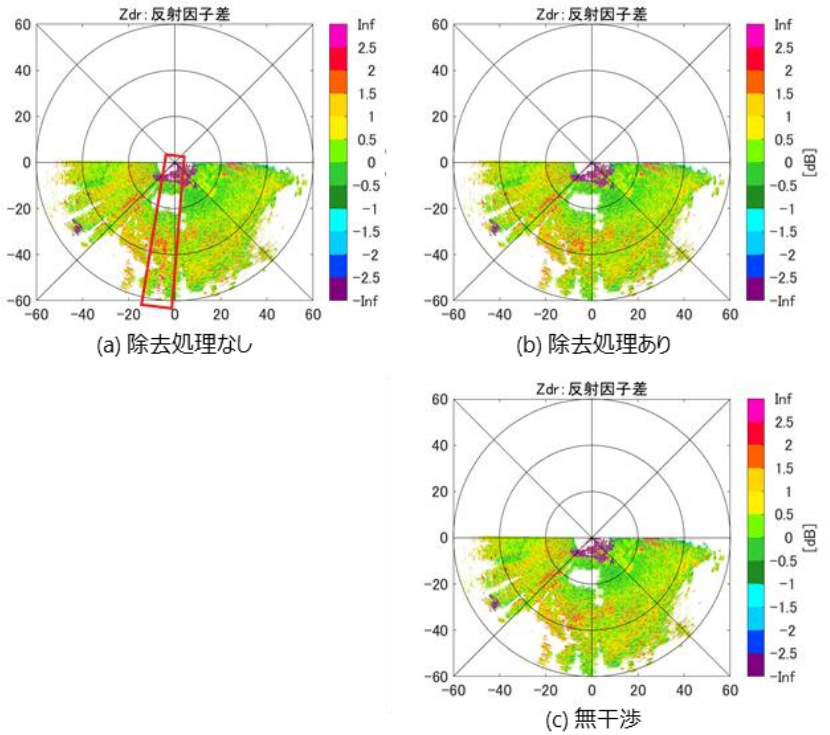


図 3-84 周波数離調時のレーダー反射因子差（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）

出所）日本無線作成

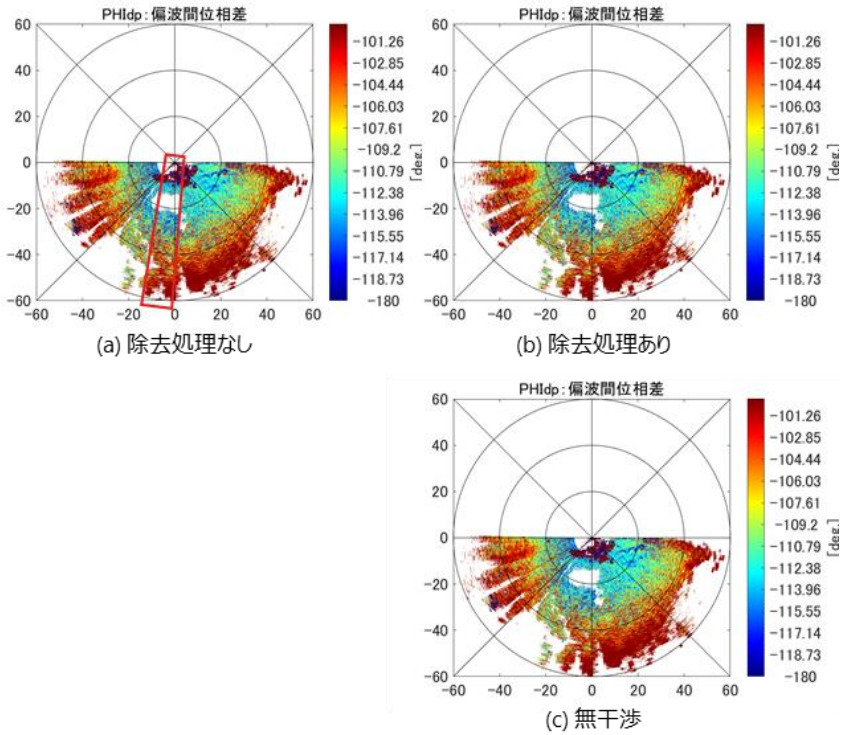


図 3-85 周波数離調時の偏波間位相差（干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置）

出所）日本無線作成

図 3-86 と表 3-62 に無干渉降水データに対する干渉除去処理後の推定誤差の絶対値と誤差分布の分散値を示す。図 3-86 と表 3-62 の H 配置による特性を図 3-78 と表 3-61 の L 配置の特性と比較すると、H 配置により推定誤差を低減可能なことが分かる。また、表 3-62 の誤差の分散値は表 3-59 の従来の沿岸監視用レーダーのパルス条件と同等の結果を示している。

以上から、沿岸監視用レーダーの短パルスと長パルスの周波数入れ替えは干渉低減に有効であり、干渉量が増大する新パルス条件でも従来パルス条件と同等程度まで干渉影響を抑えられる可能性があることを示せた。

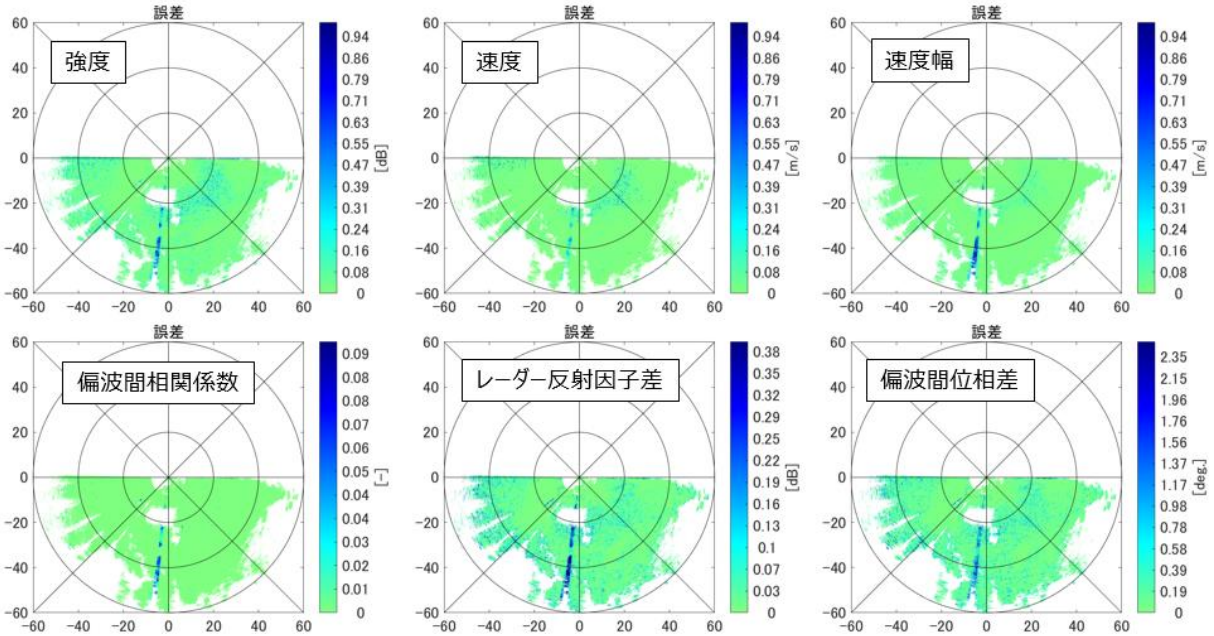


図 3-86 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差特性(干渉 PRF＝3,500Hz、H 配置)

出所)日本無線作成

表 3-62 無干渉降雨データに対する干渉除去処理後の誤差分布の分散値(H 配置)

パラメータ	周波数離調あり
強度	0.10 dB
速度	0.10 m/s
速度幅	0.08 m/s
偏波間相関係数	0.007
レーダー反射因子差	0.07 dB
偏波間位相差	0.38 deg.

出所)日本無線作成

3.5　総合実証本試験結果分析

3.5.1　CS受信機への干渉試験結果の分析

実証試験では、CS 受信設備における電力束密度が「＋6dBW／㎡」を超えると干渉の影響が生じることが分かった。この電力束密度は、当初に見積もっていた「＋2．2dBW/㎡」に対して4dB ほど大きな値であるが、「＋2.2dBW/㎡」ではアンテナ選択性（アンテナのパターン特性）を15dB と見積もっていることから、その値の違いで生じた事象と考えられる。相違する信号レベルは4dB ほどのため、アンテナ選択性で用いた15dB の信頼性というよりも、その誤差範囲にあり、またアンテナ選択性15dBより劣る結果（アンテナ選択性が15dB よりも小さくなる結果）にはならないため、今回の実証試験で得た「+6dBW/㎡」の測定精度に関する問題は生じていないと考える。さらに、アンテナ選択性以外の見積りで用いた数値に関しても同様に考えることができる。

次に、CS 衛星放送に対する沿岸監視用レーダーの技術的条件に関する規定を定める際の方針について述べる。測定での電力束密度を「+6dBW/㎡」と見積もり、計算の電力束密度「＋2.2dBW/㎡」との違いは誤差範囲としたが、技術的条件を検討する際は「＋2．2dBW/㎡」をベースとする。理由は、今回の試験では、アンテナ選択性が良好な方向であったことも想定され、また、受信アンテナ装置の違いを考えると15dB 程度としている平均値を用いることが、干渉対策には有効と考えられる。全ての CS 受信装置の性能を把握して干渉閾値を示すことも考えられるが、製品ごとの違いに加えて製品の個体差も生じるため、一般化できる指標が必要と考える。その考えから、CS衛星放送関係団体で用いられている数値として表 3-49 に示す衛星放送の干渉条件が挙げられている。また、「＋6dBW／㎡」を採用した場合は、3dB以上、沿岸監視用レーダー装置からの送信信号の電力を増加させることになるため、CS衛星放送への干渉影響が生じる可能性が高くなる。従って、本調査検討では「＋2．2dBW/㎡」を適切な数値として扱う。この電力束密度「＋2．2dBW/㎡」は、晴天時における沿岸監視用レーダー装置からの送信信号で干渉が生じないための電力束密度であるため、降雨などにより CS 衛星放送からの電波が減衰した場合には、より小さい値の電力束密度で干渉が生じる。晴天時と降雨時の違いについては、CS 衛星放送関係団体では、12．2dB のマージンを用いているため、本調査検討においても、その値を用いることとする。よって、降雨時を考慮した干渉レベルは「-10．0dBW/㎡」とすることができるため、技術的条件の検討ではこの値を用いることとする。

なお、技術的条件を検討する際の「-10.0dBW/㎡」であるが、実証試験でも分かるようにCS受信装置のアンテナ選択性の影響を強く受ける。この計算値でのアンテナ選択性は15dB としているが、実証試験では20dB を超えている方位から信号が到来していた。また、沿岸監視用レーダー装置からの見通し状況や CS 受信装置との間に存在する遮蔽物の影響、レーダー装置からの送信方向を制限することも行えるため、この干渉閾値にて一義的に扱わずに実際の状況を鑑みる必要もある。従って、技術的条件の検討では、CS受信装置との関係性を含めて検討することが望ましいと考えられる。

以上を踏まえて、CS 干渉に対する方針を表 3-63 に示す。

表 3-63 CS干渉に対する方針

項目	諸元
CS干渉抑制のための条件	CS 受信装置位置にて 干渉量が規定値を超えない
干渉の規定値	CS受信アンテナ端の電力束密度 -10.0dBW/㎡
技術的条件の検討方針	・レーダー装置からの信号は規定値を超えない ・レーダー装置とCS受信機の設置関係を考慮する ・レーダー装置とCS受信機の見通し状況を考慮する ・レーダー装置の送信方向制御を考慮する

出所）日本無線作成

3.5.2 気象レーダー装置への干渉試験結果の分析

気象レーダー装置への干渉試験では、沿岸監視用レーダーの周波数を 9,740MHz 帯から 9,800MHz 帯にした場合の気象レーダーへの与干渉をいかに低減できるかを検討した。高機能レーダー技術試験事務で観測した降雨観測データに対し、屋外試験で測定した干渉信号にもとづき生成したシミュレーション干渉を重畳して、周波数離調による干渉影響を評価した。

周波数離調しない場合は、ADC 飽和領域にて干渉除去処理後にも干渉筋が見られたが、周波数を離調することにより ADC 飽和を回避でき、干渉除去処理により干渉筋が消失することを確認した。また、雨天時の無干渉降雨データを用いた干渉除去処理後の誤差評価を行った結果、周波数離調なしに比べ、周波数離調により全ての気象パラメータにおいて推定誤差を低減でき、周波数離調が干渉低減に有効であることを示した。また、9,800MHz 帯の新しいパルス条件の中で最悪の干渉を生じる条件の評価を行ったところ、送信電力と PRF の増加から現行のパルス条件に対して精度劣化が生じた。

さらに、沿岸監視用レーダーの短パルスと長パルスの周波数を入れ替えることにより、新パルス条件においても現行のパルス条件と同等の推定精度を実現可能な見込みが得られ、周波数入れ替えの有効性を確認した。ただし、上記の対策をとった場合であっても、沿岸監視用レーダー方向においては誤差の増大が見られ、完全な干渉除去は困難なため、干渉状態に応じて事業者同士で協議しながらレーダーを運用することが望ましいと考えられる。

3.6　同一周波数帯の他の無線システムとの共用条件

これまでに実施した干渉シミュレーション及び屋外干渉試験の結果を踏まえ、他の無線システムとの共用条件について、以下のとおり提案する。

3.6.1　陸上設置気象レーダー装置との共用

陸上設置気象レーダー装置との共用条件案として、以下を提案する。

（1）　沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

- 現行と同様、帯域外領域の不要輻射不要発射の強度に許容値の現行基準を超えないこと。

（2）　沿岸監視用レーダー（固体化方式）

- 9,740MHz 帯：現行と同様、帯域外領域の不要輻射に従うこと。
- 9,800MHz 帯：送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していること。

さらに、帯域内干渉のため送信スペクトラムの抑圧を考慮した離隔距離及び見通し環境などを元に、運用者協議において合意されること。

3.6.2　航空機搭載気象レーダー装置

航空機搭載気象レーダー装置との共用条件案として、以下を提案する。

（1）　沿岸監視用レーダー（9,400MHz 帯）

- 現行と同様、沿岸監視用レーダーの性能は船舶レーダーと同等とし、現行の審査基準で認められている条件に従うこと。

（2）　沿岸監視用レーダー（9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯）

- 航空機搭載気象レーダー装置との共用は可能。
- ただし、今後運用に影響する干渉事例が発生した場合は、運用者間協議において合意されること。

3.6.3　CS衛星放送

CS 衛星放送との共用条件案として、以下を提案する。

（1）　沿岸監視用レーダー（マグネトロン方式）

- 平成 22 年度に総務省より示された「9GHz帯気象レーダーを運用される方へ」のガイドブックをベースとする。ただし、このガイドブックが改訂された場合は、改訂版をベースとする。
- 沿岸監視用レーダーの設置を求めるものは、CS受信設備に対する干渉閾値レベル

（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすること、とする。

- また、CS受信設備への干渉影響が懸念される場合は、CS放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

（2） 沿岸監視用レーダー（固体化方式）

- 沿岸監視用レーダーの設置を求めるものは、CS受信設備に対する干渉閾値レベル（pfdIr）を踏まえたうえで、設置場所における見通し条件などを明らかにすること。
- また、CS受信設備への干渉影響が懸念される場合は、CS放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

4.　取りまとめ、評価等

4.1　3 年間の実施結果の取りまとめ

令和 2-4 年度における主な調査項目を表 4-1 に、調査事項の関係性概要を図 4-1 に示す。沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査として、令和 2 年度は「X 帯状況調査」と「国際動向及び将来動向調査」を、令和 3 年度は「同一及び近隣周波数におけるレーダーの状況調査」と「複数帯域対応型レーダーの可能性検討」を実施した。X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討として、令和 2 年度は「複数帯域対応型沿岸監視用レーダー向けアンテナの仕様策定・設計・借用品による試験用機器の準備」と「複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの検討とシミュレーション」を、令和 3 年度は「複数帯域対応型送受信機の仕様策定・設計・試作」と「屋外実証試験の準備」を実施した。今年度は、沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の追加調査と屋外での総合実証試験を実施し、過年度までの検討結果も踏まえ、沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）を策定した（4.3 節を参照）。

表 4-1　令和 2-4 年度における主な調査項目

年度	主な調査項目
令和 2 年度	■諸外国の沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査 ・X 帯状況調査（8.85-9.0GHz、9.3-9.5GHz、9.8-10GHz 帯の各周波数帯域） ・沿岸監視用レーダー等に関する国際動向及び将来動向調査 ■X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討 ・複数帯域対応型沿岸監視用レーダー向けアンテナの仕様策定・設計・借用品による試験用機器の準備 ・複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの検討とシミュレーション
令和 3 年度	■国内の沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査 ・同一及び近隣周波数におけるレーダーの状況調査 ・複数帯域対応型レーダーの可能性検討 ■X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討 ・複数帯域対応型送受信機の仕様策定・設計・試作 ・屋外実証試験の準備
令和 4 年度	■沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査検討 ・新技術（フェーズドアレイ等）の可能性検討 ・波高測定用レーダーや鳥探知用レーダーへの適用可能性検討 ■X 帯新周波数に対応する沿岸監視用レーダー等の技術的条件等の検討 ・総合実証試験（屋外）の準備と実施

出所）三菱総合研究所作成

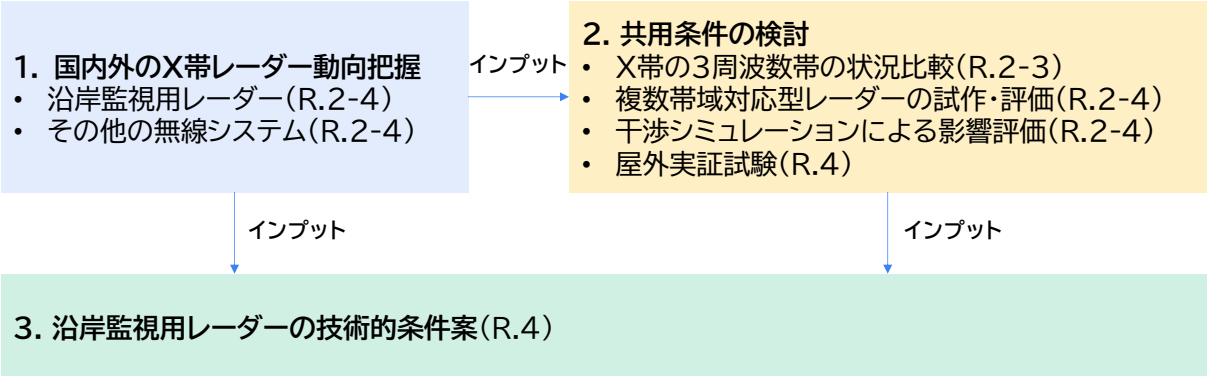


図 4-1 令和 2-4 年度における主な調査項目の関係性

注)図中の"R"は令和を指し、各調査事項を実施した年度を表す
出所)三菱総合研究所作成

4.2 総合評価

今後、需要の高まりに応じて X 帯沿岸監視用レーダーの設置数が増加することによって周波数がひっ迫することを解消するため、X 帯沿岸監視用レーダーの周波数帯を含む技術的条件を検討することにより、異レーダー間の周波数共同利用を促進するものであり、複数帯域対応型等の沿岸監視用レーダーの高度化に資することを目的として、本調査検討を実施した。

X 帯を使用する他の無線システムを利用する関係者から構成される調査検討会に検討状況を定期的に報告し議論する過程で、沿岸監視用レーダーと周辺の無線システムの共用条件の策定を行い、同共用条件に基づいて X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件案を取りまとめ、本調査検討の目的を達することができた。

他方で沿岸監視用レーダーが使用する周波数帯として 8.9GHz 帯、9.4GHz 帯、9.7GHz 帯、9.8GHz 帯を検討するなかで、各周波数帯の周波数ひっ迫の実態、無線システムの共用が困難な現状について議論がなされた。今後沿岸監視用レーダーに限らず、様々な無線システムの利用増加が見込まれることを踏まえると、既存の無線システムへの適用条件を覆さない前提での共用検討が難しくなることが想定され、既存システムとの共用条件等の見直しの必要に迫られる可能性もある。

4.3　技術的条件(案)の策定

4.3.1 項において技術的条件(案)策定における主要な方針を記し、具体的な技術的条件(案)を4.3.2 項に記す。

4.3.1　技術的条件(案)の策定方針

令和 2 年度から令和 4 年度の調査検討会における議論結果を踏まえ、以下に示す方針で技術的条件(案)を策定した。沿岸監視用レーダーの技術的条件の規定に関する現状と本調査検討で検討した方針を周波数帯毎に示す(表 4-2 参照)。

表 4-2 沿岸監視用レーダー技術的条件の周波数帯毎の検討方針

周波数帯	現状	本調査検討での検討方針
8,900MHz 帯	・ 適用外	・ 複数周波数帯域における共用判定にて不適と考えられたため、運用外とする。
9,400MHz 帯	・ 無線標定陸上局として電波法 関係審査基準に指示があり、無線設備規則第 48 条(船舶用レーダー)の技術的条件に従う。 ※マグネトロン: 9,735MHz/9,410MHz/9,415MHz/9,445MHz ※固体化: 9,400MHz 帯/EIRP58dBW 以下 ・ ※BS干渉抑制記載あり	・ 既に技術的条件が示され、他の無線システムと共用されている。以下の現行基準に従う事とする。 ・・・無線設備規則第48条 ・・・電波法関係審査基準 ・ ただし他の無線システムと共用のため、帯域外領域の規定を追加する。
9,740MHz 帯	・ 無線標定陸上局/沿岸監視用として電波法関係審査基準に指示がある。ただしマグネトロン方式のみ。 ※CS干渉抑制の項目のみ	・ 既に運用される沿岸監視用の仕様を参考とし技術的条件を検討する。 ・ 他の無線システムに対する干渉抑制の技術的条件を含める。 ・ 固体化送信方式を含める。 ・ 送信方式(マグネトロン/固体化)に応じて技術的条件を提示する。
9,800MHz帯	・ 適用外	・ IALA スタンダードに対応する無線設備として検討する。 ・ 他の無線システムに対する干渉抑制の技術的条件を含める。 ・ 送信方式は固体化方式のみとする。

出所)日本無線作成

主な留意事項の詳細は以下の通り。

(1)　新たな周波数帯

以下の検討結果に基づき、既設の沿岸監視用レーダーが使用している 9.4GHz 帯、9.7GHz 帯に加え、複数帯域対応周波数として 9.8GHz 帯を使用することを想定し、沿岸監視用レーダー技術的条件(案)を検討することとした。

- 無線システムの X 帯の使用状況調査を、8.85-9.0GHz 帯(8.9GHz 帯)、9.3-9.5GHz 帯(9.4GHz 帯)、9.8-10GHz 帯(9.8GHz 帯)の各周波数帯域における国内の分配状況を調

査した。その結果、船舶航行用レーダー、航空機用気象レーダーは増加傾向にあり、9.4GHz 帯気象レーダーはゲリラ豪雨等の観測を目的として導入が進むと期待されている。総じて 9.3-9.5GHz 帯は各種レーダーで混みあっている状況である。

- 周波数共用化の観点から、まず各周波数帯域における影響度を比較するために、沿岸監視用レーダーと気象レーダー、船舶航行用レーダーの干渉シミュレーションを行い、共用可能性について簡易的な条件で検討した。その結果、9,8GHz 帯の沿岸監視用レーダーを用いた場合に、被干渉局への影響が最も小さくなった。
- また複数帯域対応型レーダーとしての利用を想定し経済合理性の観点から部品共用化を検討した。輻射部、駆動部、送受信部の 3 点が複数周波数対応型レーダーを構成する装置とした場合、複数周波数への対応方法として、装置の部分交換もしくは部品交換、同じ装置での対応が可能かを検討した。輻射部については、8.9GHz 帯は設計仕様を未達となり輻射部の共用が難しく、9.3GHz 帯は設計仕様を満たすものの放射特性のばらつきについて懸念が見られた。9.8GHz 帯については設計仕様を満たすことが明らかとなり、共用可能であると考えられた。駆動部、固体化送受信機についても試作・評価を行い、設計仕様を満たすことを確認した。

（2） マグネトロンレーダーと固体化レーダー

沿岸監視用レーダーでは、多数のマグネトロンレーダーが既設であるのに対し、固体化レーダーの設置数は少ない。しかしながら今後固体化レーダーの利用が進む可能性が想定される。そこでマグネトロンレーダーと固体化レーダーを区分して技術的条件（案）を策定することとした（技術的条件 A、B と呼ぶ）。特にマグネトロンレーダーは複数帯域（対応）周波数帯を使用することは想定せず、固体化レーダーに対してのみ適用することとした（表 4-3 参照）。

表 4-3 技術的条件 A と技術的条件 B の適用周波数帯

周波数帯	9,400MHz 帯	9,740MHz 帯	複数帯域周波数
マグネトロン	技術的条件 A		
固体化	技術的条件 B		

出所）日本無線作成

（3） 9,400MHz 帯

既に多くの沿岸監視用レーダーが 9400MHz（9.4GHz）帯を使用している状況である。そこで当該周波数帯の沿岸監視用レーダーについては船舶用レーダーと同等の技術的条件を設けることとした。

（4） IALA レーダーモデルとの対応

沿岸監視用レーダーの動向調査結果（ヒアリング）により、海外へ輸出する際に求められる沿岸監視用レーダーの主要諸元として IALA ガイドラインのカテゴリ“Standard”（スタンダード）が引用される場合が多く、今後はより広範囲の探知が可能で、より解像度の高い製品への需要が高まる可能性が示唆された。そこで、国内で高性能なレーダーが要求されている状況ではないものの、高性能レーダーに対するニーズや今後需要が拡大することを考慮して IALA レーダーモデルとの整合性を確保することとした（表 4-4 参照）。しかしながら高機能な沿岸監視用レーダーは他の無線システムへの影響が比較的

強いことが想定されるため、(1)に基づき高機能な沿岸監視用レーダーは周波数帯としては 9.8GHz 帯を選択することを前提として技術的条件(案)を策定することとした。

表 4-4 IALA Standard の距離分解能、方位分解能、探知性能を満足する固体化レーダーの仕様

IALA 該当項目	IALA 要求性能	沿岸監視用レーダー 該当項目	IALA Standard を 満足する沿岸監視用 レーダー性能	沿岸監視用 レーダー性能 案
方位分解能	0.6°以下	水平ビーム幅 -3dB	0.6°以下	0.5°
距離分解能	20m 以下	最小パルス幅 -3dB	0.09μs 以下	0.16μs
最小探知距離	0.02NM 以下 (約 37m)	最小パルス幅 -3dB	0.247μs 以下	0.16μs
最大探知距離	23NM 以上 (約 43km) (RCS1000 ㎡、 ASL100m において)	最大パルス幅 -3dB	18.3μs 以上	18.3μs
		空中線電力	200W 以上	200W
		空中線利得	35dBi 以上	35dBi

出所)日本無線作成

4.3.2 技術的条件(案)

3.6 節及び 4.3.1 項に基づき、沿岸監視用レーダーの技術的条件(案)を以下の通り策定した。なお、電波法関係審査基準等で規定済みの項目について「既設」、本技術試験事務で新たに規定することを提案する項目について「新設」と表記する。

(1) 送信方式

送信方式についての技術的条件(案)を表 4-5 に示す。

9,740MHz 帯は既設のマグネトロン方式とともに固体化方式を加え、既存運用局の固体化方式の仕様を包括するよう留意した。一方、複数帯域周波数 9,800MHz 帯はマグネトロン方式を規定せず、固体化方式のみとする。

表 4-5 送信方式についての技術的条件

項目	技術的条件
送信方式	(1)9,740MHz 帯 ・ マグネトロン方式(既設) ・ 固体化方式(新設) (2)9,800MHz 帯 ・ 固体化方式(新設)

出所)日本無線作成

（2） 周波数と、周波数の許容偏差

周波数と、周波数の許容偏差についての技術的条件（案）を表 4-6 に示す。

気象レーダー設備との干渉試験から周波数を定める。

また固体化方式では、分解能信号帯域幅の最大 30MHz 幅から離調周波数幅を規定する。固体化方式の周波数は水晶発振子などを利用するため偏差を狭めることができる。

表 4-6 周波数と許容偏差についての技術的条件

項目	技術的条件
周波数と許容偏差	(1)9,740MHz 帯 ・ マグネトロン方式：9,740MHz（既設） ・ 固体化方式：9,740MHz±15MHz（新設） ・・・P0N 信号と Q0N 信号の周波数範囲としL配置を基本とする ・・・隣接する無線システムの状況からはH配置を許容する（※ L 配置：P0N 信号が Q0N 信号送信よりも低い周波数、逆を H 配置とする。以下同様） (2)9,800MHz 帯（新設） ・ 固体化方式：9,850MHz±15MHz（新設） ・・・P0N 信号と Q0N 信号の周波数範囲としH配置を基本とする ・・・隣接する無線システムの状況からはL配置を許容 (3)周波数の許容偏差 ・ マグネトロン方式：1,250ppm（既設） ・ 固体化方式：300ppm（新設）

出所）日本無線作成

（3） 空中線電力と許容偏差

空中線電力と、空中線電力の許容偏差についての技術的条件（案）を表 4-7 に示す。

9,740MHz 帯のマグネトロン方式は電波法関係審査基準に沿い、同周波数帯の固体化方式は 9,400MHz 帯の電波法関係審査基準を参考とする。

9,800MHz 帯では IALA スタンダードのガイドラインに沿える電力とし、電力計算は以下の通り。

- IALA GUIDELINE-1111 の Table13 にて探知性能の推奨値が示され、最大電力が必要な仕様は次の通り。
  - 設置高 100m、物標のレーダー反射断面積：10 ㎡、探知距離：20 マイル
- 検出 SN 比は、検出確率 0.7～0.9、誤警報確率は 10^{-4}～10^{-5} とされており最大値を用いると、検出確率：0.9、誤警報確率：10^{-5} として、SN 比は 14.77dB である。
- 上記から受信機雑音レベルに対する必要な EIRP の比を求める。なお受信機 NF は 6dB と仮定する。
  - 距離 20nm の往復損失:204.73dB − RCS:10dB ＋ SN:14.77dB ＋ NF:6dB ＝ EIRP 比:215.5dB
- 方位分解能の推奨値は 0.6 度である。現用の 0.5 度以下（18ft 長）を参考としアンテナ利得は 35dBi と仮定する。

- 受信アンテナの有効面積 Ar＝AntG×λ^2／(4π)より、
  Ar＝35dBi-41.3dB=-6.3dB(9,850MHz)

- 距離分解能の推奨値は 20mである。必要とする帯域幅は以下の通り。
  - 4 ÷ (20m / 150m/μs)＝30MHz、kTB=-99dBm

- 圧縮利得はパルス幅×掃引周波数幅で扱う。
- 圧縮利得の処理関数が不定なことから、リニアチャープとして処理損失を 4dB と仮定する。
- 以上から送信機出力電力をパルス幅 10μs/22μs/30μs で計算する。
  - 送信電力＝kTB ＋ EIRP 比 － 受信アンテナ有効面積 － 圧縮利得 － 送信アンテナ利得により計算する。
  - 10μs: 67.00dBm ≒ 5.00kW
  - 22μs:63.57dBm≒2.27kW
  - 30μs: 62.22dBm≒1.67kW

- 上記では電力が 1kW を超える。固体化方式もあり積分処理利得を付加する。積分処理は、一つの物標に対しレーダー装置からの送信信号が照射される回数分(エコーとして反射する回数)行う。この照射回数はアンテナ回転数、繰り返し周波数、アンテナビーム幅から求められる。

  照射回数＝ビーム幅[度] ÷
  { 360[度]÷(繰り返し周波数[Hz]×60[秒]÷アンテナ回転数[rpm])
  ＝0.5[deg]÷{360[deg]÷(3000[Hz]×60[s]÷24[rpm])}
  ＝10.41[回]

  上記のように、アンテナ回転数 24rpm、繰り返し周波数 3kHz、アンテナビーム幅 0.5 度とした場合、照射回数はおよそ 10 回となるが、レーダー装置に実装される処理方法により差が生じるため 8 回とする。また、積分処理では利用する窓関数による処理損失を 3dB と仮定して積分処理利得を計算する。

  積分処理利得 ＝ 10×Log10(8[回]) － 3[dB]
  ＝ 9.03[dB] － 3[dB] ≒ 6[dB] となる。

  - 10μs: 60.96dBm ≒ 1.25kW
  - 22μs: 57.54dBm≒0.57kW
  - 30μs: 56.19dBm≒416W

- この電力は給電線を含めていないため、平均的な給電線長 20mから給電線損失を 2dB とする。
  - 10μs: 62.96dBm ≒ 1.98kW
  - 22μs: 59.54dBm≒900W
  - 30μs: 58.19dBm≒660W

- 仮定する項目が多いものの、IALA スタンダードに沿うには送信機出力は約 700W が必要である。

- 給電線の損失もあるため、EIRP を併用して輻射電力は約 420W で規定を設ける。
- パルス圧縮及び積分処理を併用した電力のため、パルス幅と繰り返し周波数も関係する。

また空中線電力は送信機の出力端で規定する（送受供用の場合はその出力端）。電力は給電線の損失を含めた EIRP の規定を併設する。電力の許容偏差は無線設備規則第 14 条6(3)とするが、許容偏差を含めて(4)に示される EIRP を超えないこと。

表 4-7 空中線電力と許容偏差についての技術的条件

項目	技術的条件
空中線電力と許容偏差	(1)9,740MHz 帯 ・ マグネトロン方式：50kW(既設) ・ 固体化方式：700W(新設) (2)9,800MHz 帯(新設) ・ 固体化方式：700W(新設) (3)許容偏差(9,740MHz帯 / 9,800MHz 帯) ・ ＋50%，－50%(既設)

出所）日本無線作成

（4） EIRP（等価等方放射電力）

EIRP（等価等方放射電力）についての技術的条件（案）を表 4-8 に示す。
規定値は以下の計算により得られる。

- 9,740MHz 帯マグネトロン方式
  - 送信電力 77dBm（50kW）＋アンテナ利得：35dBi=112dBm⇒82dBW
- 9,740MHz 帯固体化方式
  - 9,400MHz の電波法関係審査基準を参考とし現運用局とも整合する 58dBW とする。
  - 送信電力 53dBm（200W）＋アンテナ利得：35dBi＝88dBm⇒58dBW
- 9,800MHz 帯
  - IALA スタンダードに沿う電力計算とする。また電力の許容偏差を、+20%を含めて規定する。
  - 送信電力 56.19dBm（416W）×1.2 倍 ≒57dBm
  - EIRP 規定値＝送信電力許容値 57dBm＋アンテナ利得 35dBi＝92dBm
    ⇒EIRP：62dBW 以下

表 4-8 EIRP(等価等方放射電力)についての技術的条件

項目	技術的条件
EIRP	(1)9,740MHz 帯 ・ マグネトロン方式:82dBW 以下(新設) ・ 固体化方式:58dBW 以下 (新設) (2)9,800MHz 帯(新設) ・ 固体化方式:62dBW 以下 (新設)

出所)日本無線作成

(5) 電波の型式

電波の型式についての技術的条件(案)を表 4-9 に示す。

導入実績のあるレーダーと同じく P0N(CW パルス)と Q0N(チャープパルス)とする。ただしレーダー送受信処理の発展性を捉え P0N と Q0N の複合パルス V0N は残すこととする。また他の無線システムとの共用のため FMCW は選択しないこととした。

表 4-9 電波の型式についての技術的条件

項目	技術的条件
電波の型式	(1)9,740MHz 帯 ・ マグネトロン方式:P0N(既設) ・ 固体化方式:P0N/Q0N/V0N(新設) (2)9,800MHz 帯(新設) ・ 固体化方式:P0N/Q0N/V0N(新設)

出所)日本無線作成

(6) 送信パルス幅

送信パルス幅についての技術的条件(案)を表 4-10 に示す。

9,740MHz 帯については現用機器との整合をとることとした。9,800MHz 帯については、IALA スタンダードの距離分解能に適合するよう定めた。P0N パルス幅は以下の通り計算して定めた。

- 分解能 20m⇒2÷(20m/150m/us)= 66ns ⇒ 70ns=0.07μs

導入実績のあるレーダーと同じく P0N(CW パルス)

表 4-10 送信パルス幅についての技術的条件

項目	技術的条件
送信パルス幅	(1-1)9,740MHz 帯 マグネトロン方式 ・ P0N 信号:0.1μs 以上(既設) (1-2)9,740MHz 帯 固体化方式 ・ P0N 信号:0.16μs 以上(新設) ・ Q0N 信号:22μs 以下(新設) (2)9,800MHz 帯 ・ P0N 信号:0.07μs 以上(新設) ・ Q0N 信号:30μs 以下(新設)

出所)日本無線作成

（7） 送信繰り返し周波数

送信繰り返し周波数についての技術的条件（案）を表 4-11 に示す。

送信方式、電波の型式によらず定めることとした。マグネトロン方式では Duty0.1%の仕様もあり最大は 2.5kHz 程度で運用されている。一方、固体化方式では以下を考慮した。

- IALA スタンダードの探知距離 23nm から最大周波数は 3.5kHz
- 無線設備規則第48条第二項 16 で示される告示を参考とする
- 9,800MHz 帯の必要電力は積分処理を含め 3kHz を条件

上記から、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯共に上限を 3kHz とする。干渉対策とするスタガ送信及び繰り返し周波数操作の範囲を含める。他の無線システムとの時間干渉率への影響を考慮し規定する。

表 4-11 送信繰り返し周波数についての技術的条件

項目	技術的条件
送信繰り返し周波数	(1)9,740MHz 帯：3kHz 以下（新設） (2)9,800MHz 帯：3kHz 以下（新設）

出所）日本無線作成

（8） 占有周波数帯幅

占有周波数帯幅についての技術的条件（案）を表 4-12 に示す。

9,740MHz 帯マグネトロン方式は、P0N 信号は現用から最小パルスを 0.1us とし 40MHz 幅とする。

9,740MHz 帯固体化方式は、P0N 信号は現用から最小パルスを 0.16us とし 25MHz 幅とする。Q0N 信号は現用のチャープ掃引周波数 22MHz 以下としてパルス変調の拡がりを ±1MHz を付与し 24MHz 幅とする。また P0N と Q0N は離調周波数 30MHz とすると 39.5MHz. マグネトロンと同様である。

9,800MHz 帯は、P0N 信号は IALA スタンダード対応として 0.07us より 58MHz 幅とする。一方で Q0N 信号は 9,740MHz 帯を参照する。

表 4-12 占有周波数帯幅についての技術的条件

項目	技術的条件
占有周波数帯幅	(1-1)9,740MHz 帯 マグネトロン方式 ・ P0N 信号：40MHz 以下（既設） (1-2)9,740MHz 帯 固体化方式 ・ P0N 信号：25MHz 以下（新設） ・ Q0N 信号：24MHz 以下（新設） (2)9,800MHz 帯 ・ P0N 信号：58MHz 以下（新設） ・ Q0N 信号：24MHz 以下（新設）

出所）日本無線作成

（9） 帯域外領域のスプリアス発射

占有周波数帯幅についての技術的条件(案)を表 4-13 に示す。

隣接する他の無線システムと共用するため、帯域外領域でのスプリアスレベルは図 4-1、図 4-2、図 4-3、図 4-4、図 4-5、図 4-6 のように占有周波数帯と帯域外領域の指定によって定める。まずITU-R SM.1541 Annex8に従いB-40帯域と帯域外領域のマスクを規定する。B-40帯域内側は、ITU-R SM.1541Annex8 の必要周波数帯幅を参照し、-20dBc 以下とする。固体化方式においては、送信周波数±65MHz 以外の B-40 帯域は-40dBc 以下とする。帯域外領域において、B-40 帯域より外側の 30dB/decade で低減する領域は、その低減スロープを超えないこととする。以上を統合して帯域外領域でスペクトラムを規定する。

表 4-13 帯域外領域のスプリアス発射についての技術的条件

項目	技術的条件
帯域外領域のスプリアス発射	(1)帯域外領域 ・ ITU-R SM.1541Annex8 に従う ・B-40 帯域幅と 30dB/decade 降下線で指定する(既設) (2)帯域外領域のスプリアス発射の強度 ・ 占有周波数帯幅から ITU-R SM.1541 で示される B-40 帯域幅の間とする ・平均電力から 20dBc 以下(新設) ・固体化送信方式においては上記 20dBc に加え、送信周波数±65MHz 以外の周波数領域は 40dBc 以下もしくは B-40dB 帯域のスロープ以下(新設) ・ B-40 帯域幅からスプリアス領域との境界の間 ・平均電力から下記マスクを低減した信号強度以下(新設) ・B-40 帯域からスプリアス領域との境界まで、40dBc から開始する 30dBc/decade のスロープが示すマスク

出所)日本無線作成

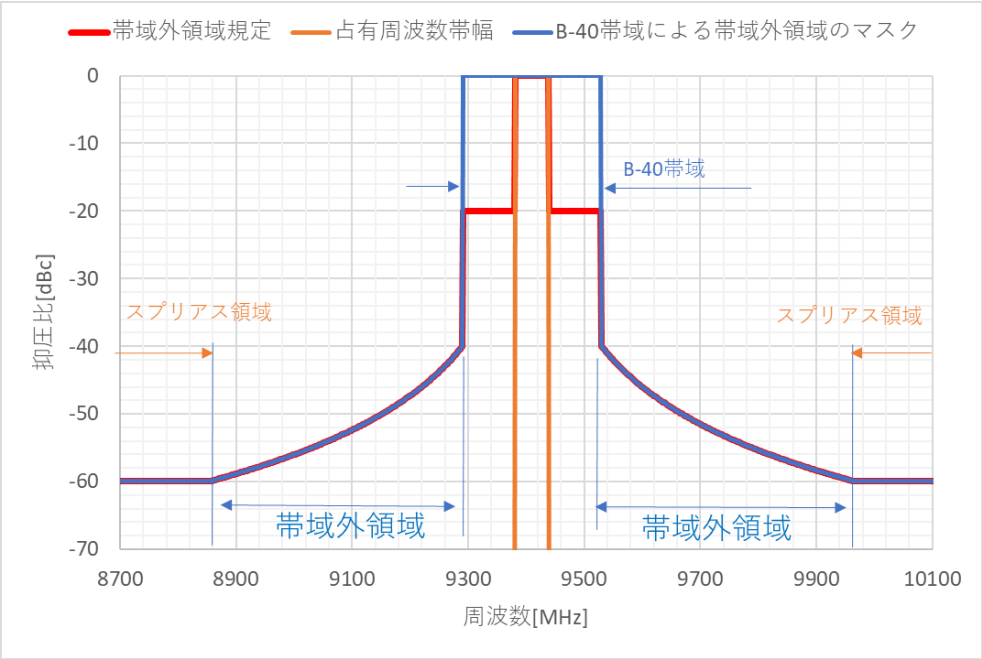


図 4-2 9,410MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 58MHz、B-40 帯域幅 240MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。
出所）日本無線作成

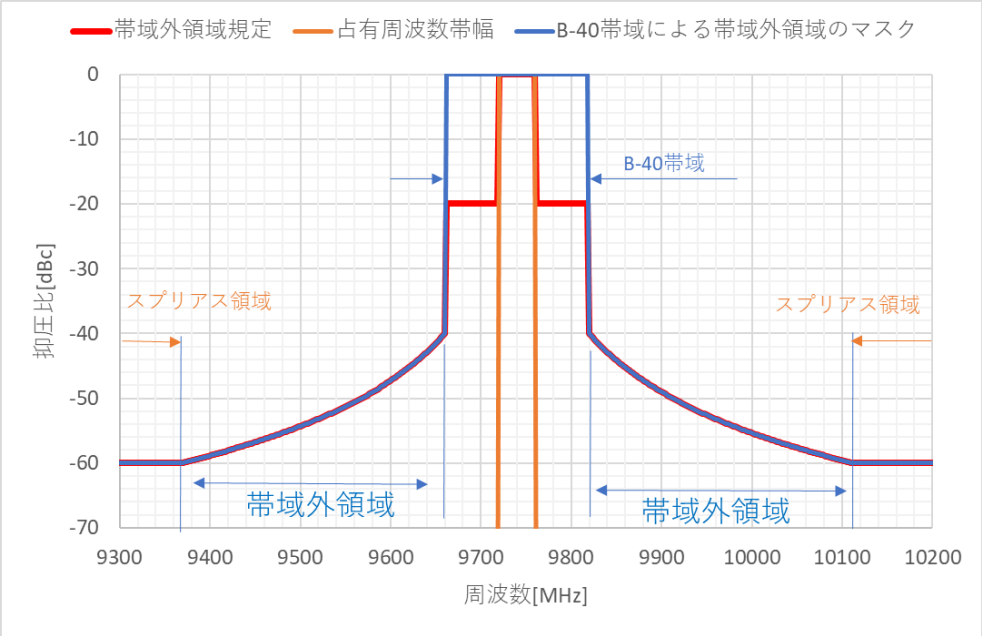


図 4-3 9,740MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 40MHz、B-40 帯域幅 160MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。
出所）日本無線作成

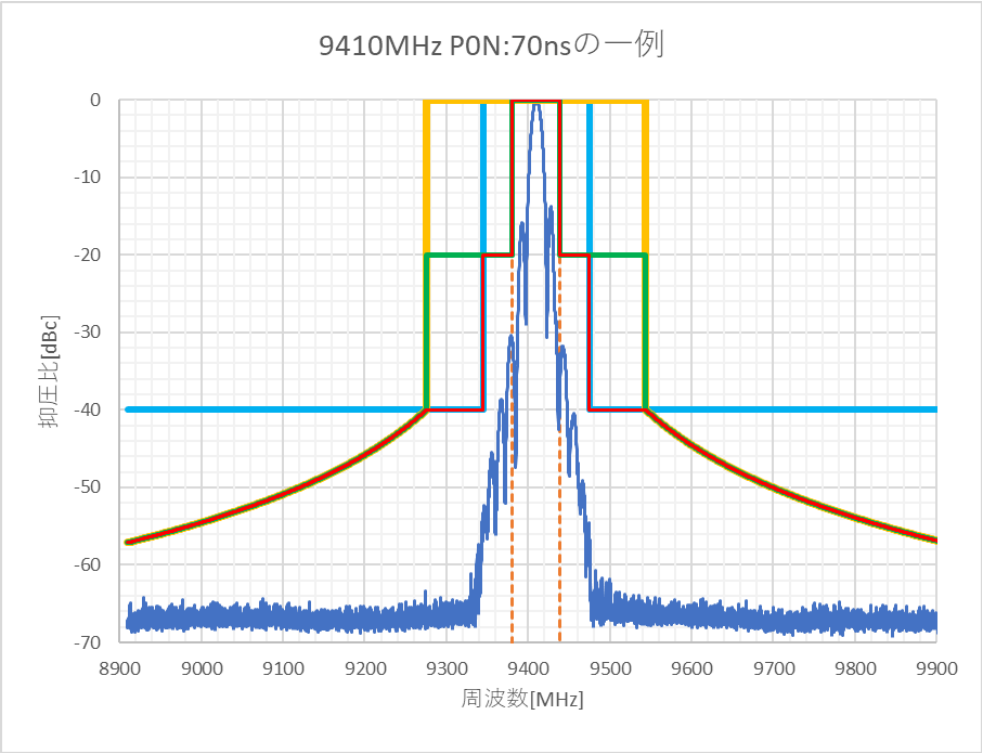


図 4-4 9,410MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。
出所）日本無線作成

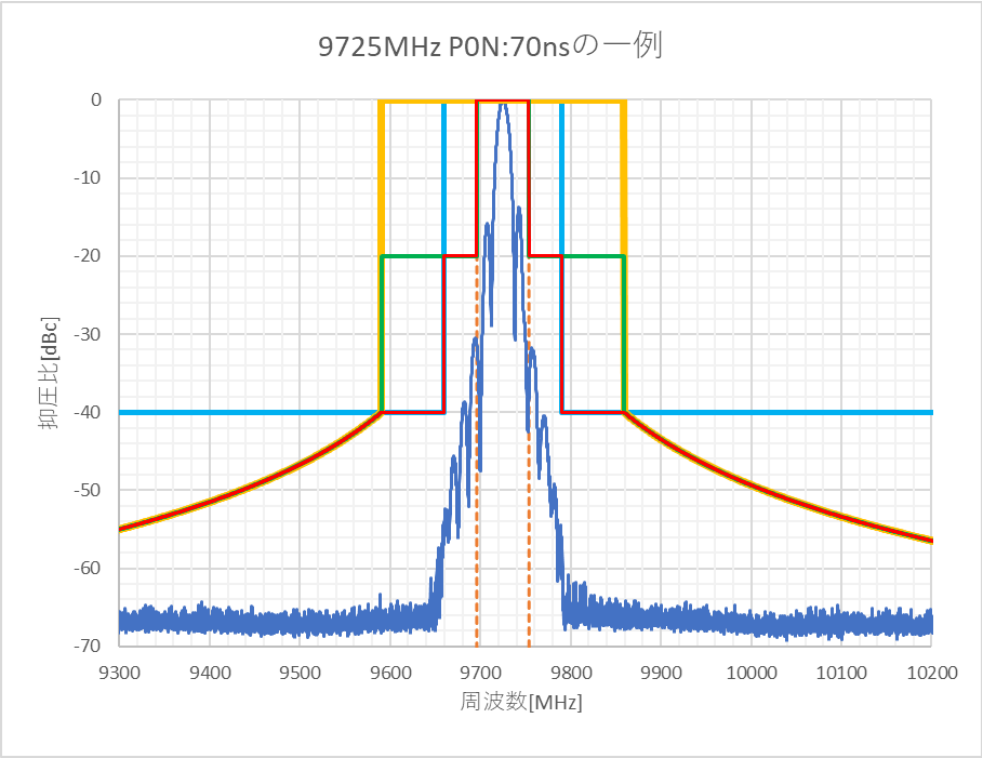


図 4-5 9,740MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9,725MHz で P0N 信号を送信する場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。
出所）日本無線作成

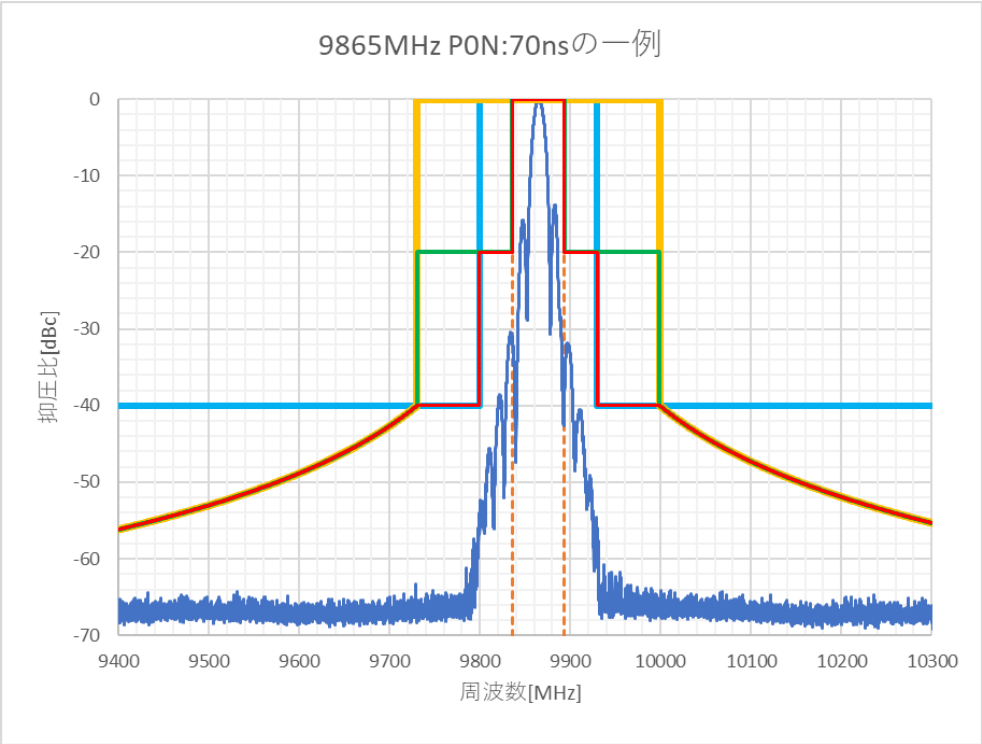


図 4-6 9,800MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9,865MHz で P0N 信号を送信した場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。
出所）日本無線作成

（10）スプリアス領域の不要発射

スプリアス領域の不要発射についての技術的条件（案）を表 4-14 に示す。

ITU-R SM.1541 Annex8 を参照する。マグネトロン方式は現行 20dB/decade から ITU に沿う 30dB/decade に変更し、今後の沿岸監視レーダーは送信方式に寄らず 30dB/decade とする。ただし現用のマグネトロン方式のレーダーについては総務省告示第 67 号（令和元年 6 月 20 日）の附則2から旧規定（20dB/decade）が容認される。

表 4-14 スプリアス領域の不要発射についての技術的条件

項目	技術的条件
スプリアス領域の不要発射	(1)帯域外領域とスプリアス領域の境界 ・ マグネトロン方式 ・B-40 帯域から 30dB/decade 降下線が 60dBc に達する周波数（変更） ・ 固体化方式 ・B-40 帯域から 30dB/decade 降下線が 60dBc に達する周波数（新設） (2)スプリアス領域の不要発射の強度 ・ 不要発射の強度は、尖頭電力から 60dBc 以下

出所）日本無線作成

（11）他の無線システムとの共用条件

他の無線システムとの共用条件についての技術的条件（案）を表 4-15 に示す。

9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯で対象とする無線システムは陸上設置の気象レーダーとする。

固体化方式では気象レーダーへの干渉試験から、被干渉局の受信アンテナが受ける電力密度と干渉状況は密接な関係にあるので、見通しなどの抑圧も考慮した受信状況（離隔距離算定）から、運用協議により合意されること。

隣接する他の無線システムが用いる周波数において、送信スペクトラムの抑圧量が明らかであれば、EIRP をその抑圧量だけ低減し距離を計算する。

9,800MHz 帯は、9,800MHz 以下には占有周波数帯幅が存在しないことから、この周波数で 40dBc 抑圧していることを条件とする。

なお、より抑圧することが証明できれば抑圧量を増やして距離を計算する。

9,740MHz 帯マグネトロン方式は、P0N 信号は現用から最小パルスを 0.1μs とし 40MHz 幅とする。

表 4-15 他の無線システムとの共用条件についての技術的条件

項目	技術的条件
CS 干渉対応	(1)マグネトロン方式 ・ 現在と同じく帯域外領域の不要輻射に従う. (2)固体化方式 ・ 9,740MHz 帯:現在と同じく帯域外領域の不要輻射に従う。 ・ 9,800MHz 帯:送信スペクトラムが 9,800MHz 以下で 40dB 抑圧していること。 (3)帯域干渉のため送信スペクトラムの抑圧を考慮した離隔距離及び見通し環境などを元に、運用者協議において合意されること。

出所）日本無線作成

（12）平均電力

EIRP と送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定するため、平均電力については規定しないこととした。

（13）電力パルス幅積

EIRP と送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定するため、電力パルス幅積については規定しないこととした。

（14）CS干渉対応

CS 干渉対応についての技術的条件（案）を表 4-16 に示す。

9740MHz 帯マグネトロン方式は既設の条件をもとにする。9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯の固体化方式は、CS干渉試験をもとにした次ページ以降の計算式をもとに影響する距離を把握し、設置地域の地形・遮蔽物・レーダー観測範囲などの情報も含めた総合的な判断を行うこととし、干渉閾値 pfdIr 及び離隔距離だけで共用条件の判断は行わない。

表 4-16 CS 干渉対応についての技術的条件

項目	技術的条件
CS 干渉対応	(1)沿岸監視用レーダー(マグネトロン方式) ・ マグネトロン方式:平成 22 年度に総務省より示された「9 GHz帯気象レーダーを運用される方へ」のガイドブックをベースとする。ただし、このガイドブックが改訂された場合は、改訂版をベースとする。 ・ 沿岸監視レーダーの設置を求めるものは、CS受信設備に対する干渉閾値レベル(pfdIr) を踏まえたうえで、設置場所における見通し関係などを明らかにすること。 ・ CS受信設備への干渉影響が懸念される場合は、CS放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。 (2) 沿岸監視用レーダー(固体化方式) ・ 沿岸監視レーダーの設置を求めるものは、CS受信設備に対する干渉閾値レベル(pfdIr) を踏まえたうえで、設置場所における見通し関係などを明らかにすること。 ・ CS受信設備への干渉影響が懸念される場合は、CS放送事業者と運用調整を行い、合意が行われること。

出所)日本無線作成

干渉閾値レベルは下記式で求める。パラメータは表 4-17 に示す通り。降雨などの干渉対応も必要な事からマージンを含めた干渉閾値レベルに対して離隔距離を計算する。

レーダー干渉閾値 pfdlr ＝ CS電力束密度 － Cave/Ipeak － 干渉マージン

＋ イメージ選択度 ＋ アンテナ選択度

晴天時 pfdIr = -108dBW/㎡ - (-1.7dB) - 0dB + 93.5dB + 15dB

= +2.2dBW/㎡

マージンあり pfdIr = -108dBW/㎡ - (-1.7dB) - 12.2dB + 93.5dB + 15dB

= -10.0dBW/㎡

沿岸監視レーダー設備のEIRPは下記式により離隔距離を計算する。

$$離隔距離[m] = [10^{\{(EIRP[dBm] - pfdIr:-10dBW/㎡ +30dB)/10\}} / 4\pi)]^{1/2}$$

上記式により得られる EIRP と離隔距離の関係は図 4-7 に示す通り。ただしマージンとしては降雨時を想定している。

表 4-17 CS 干渉閾値計算のためのパラメータ

パラメータ	値
電力束密度	-108[dBW/m^2]
Cave/Ipeak	-1.7[dB]
M(マージン 降雨等考慮)	12.2[dB]
S(イメージ抑圧比)	93.5[dBm]
D(アンテナ選択性)	15[dB]

出所)日本無線作成

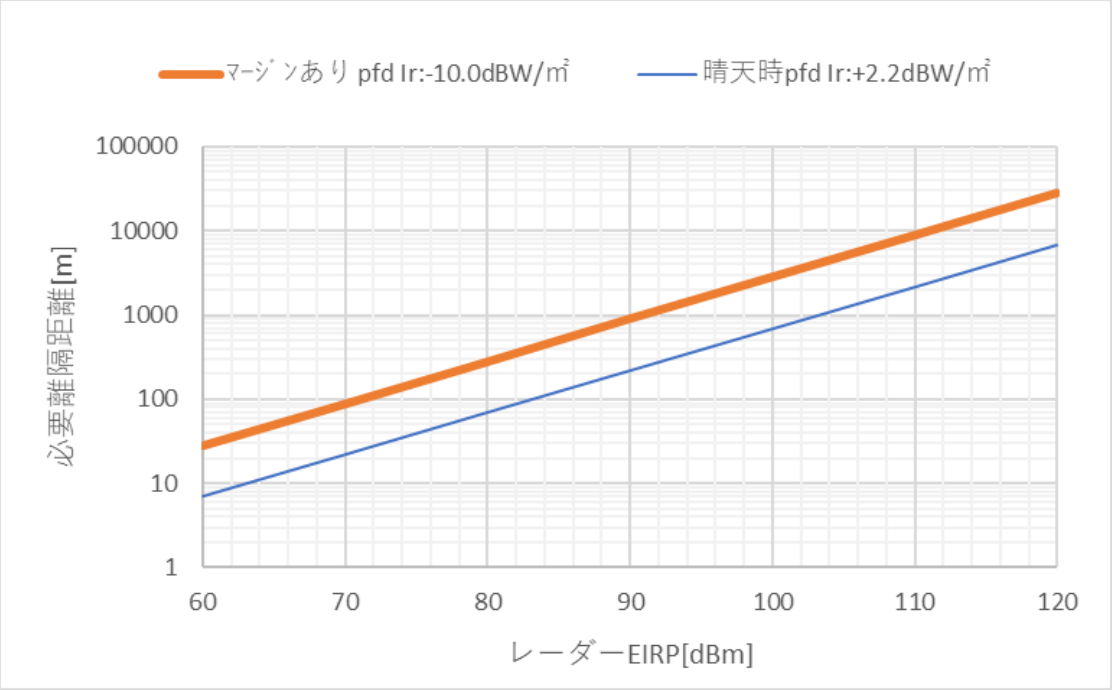


図 4-7 EIRP と離隔距離の関係

出所）日本無線作成

（15）測定法

船舶レーダーに対する無線機器型式検定規則に基づく試験方法を参考に、前項の技術的条件に即した試験方法を以下の通り検討した。

■ 周波数と周波数の許容偏差

- スペクトラムアナライザを用いて実施する
- スペクトラムアナライザの設定は下記による
  - 周波数範囲：40dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと
  - 周波数分解能：ITU-R M.1177 Annex1 に従う
  - ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする
  - 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の2倍以上
  - 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
  - 検波モード：ポジティブピーク
- パルス変調信号の測定のため下記により周波数を把握する
  - P0N信号：最大ピークレベル
  - Q0N信号：3dB 幅の中央周波数
- 周波数の許容偏差は、指定される周波数と上記で測定した周波数の比とする

■ 空中線電力

- 送受信装置の送信出力端にて観測する電力を、空中線電力とする
- 高周波平均電力計を用い、平均電力を観測し空中線電力を求める
- 平均電力から空中線電力（尖頭電力）を求めるので送信波形の測定を伴う
- レーダー送信は、P0N信号、Q0N信号など個別に送信する。なおV0N信号の場合は複合信号のまま送信する
- 送信波形の測定は検波器を用いて次の事項を測定して送信時間率を求める
  - 送信繰り返し時間（詳細は別項による）
  - 送信パルス幅時間（詳細は別項による）
  - 送信時間率＝送信パルス幅[s]÷送信繰り返し時間[s]
- 高周波平均電力計での測定
  - 使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること
  - 測定値に対し送信時間率を除して、治具の損失で補正し空中線電力とする
- ピークパワーメータでの測定
  - 使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること
  - 尖頭電力を測定し、治具の損失で補正し空中線電力とする

■ EIRP

- EIRP（等価等方放射電力）は、空中線電力と工事設計書で判断する
- 空中線電力は、空中線電力の測定法にのっとり測定する
- 工事設計書に記載される給電線の損失から下記式により EIRP を求める
  - EIRP[dBW]＝空中線電力[dBm]＋アンテナ利得[dBi]－給電線損失[dB]－30dB

■ 送信繰り返し周波数と送信パルス幅

- 検波器とオシロスコープを用いて実施する
- 検波器は下記とする
  - 周波数帯が合致していること
  - 変換特性が既知（校正）されていること。もしくは、測定の際に校正手段を講じること
- 測定場所は、送信機出力もしくは送受共用であればその出力端とする
- 送信機出力から検波器に必要な電力まで信号を減衰し、検波器出力をオシロスコープに接続して、表示される波形について以下を測定する
  - 送信繰り返し周波数（逆数にすることで繰り返し時間）
  - 送信パルス幅（振幅 50％点とする）

■ 占有周波数帯幅

- スペクトラムアナライザを用いて実施する
- スペクトラムアナライザの設定は下記による

  - 周波数範囲：50dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと
  - 周波数分解能：ITU-R M.1177 Annex1 に従う
  - ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする
  - 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の2倍以上
  - 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
  - 検波モード：ポジティブピーク

- 測定方法は下記のいずれかで実施する

  - 送信電力の総和を基にし、下記①②の周波数から周波数帯幅を測定する
    ①信号の下限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
    ②信号の上限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
    ③上記の周波数の差を占有周波数帯幅とする
  - スペクトラムアナライザの占有周波数帯幅測定機能で測定する

■ 帯域外領域のスプリアス発射及びスプリアス領域の不要発射

- スペクトラムアナライザを用いて間接法で実施する
- 帯域外領域とスプリアス領域の境界は下記による

  - B-40 帯域の決定は ITU-R SM.1541 Annex8 による
  - B-40 帯域からの降下率は IRU-R SM.1541 に従い 30dB/decade とする

- 周波数の測定範囲

  - 帯域外領域：帯域外領域よりも広いこと
  - スペクトラム領域：ITU-R SM.329 に従い 30MHz から 26GHz まで

- スペクトラムアナライザの設定は下記による

  - 周波数掃引幅：帯域外領域の周波数幅よりも広いこと
  - 周波数分解能：ITU-R M.1177 Annex1 に従う
  - ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする
  - 周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の2倍以上
  - 周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
  - 検波モード：ポジティブピーク

- 測定方法

  - P0N 信号、Q0N 信号を各々測定する. V0N 信号は V0N 変調のまま実施する
  - 送信信号の強度に対する不要輻射の信号強度の比を測定する

5.　調査検討会の開催状況

本調査検討の方針や結果を諮るために、有識者から構成される調査検討会を設置した。調査検討会の開催状況を以下に示す。なお、調査検討会の開催要綱は付録に示す。

- 第一回調査検討会
  - 日時：2022 年 9 月 16 日（金）10:00～12:00
  - 場所：オンライン（Webex）
  - 主な議題：
    - 開催要綱（案）
    - 実施計画（案）
    - 動向調査結果
    - 干渉シミュレーション結果
    - アンテナ及び送受信機評価
    - 実証試験計画（案）

- 第二回調査検討会
  - 日時：2022 年 12 月 21 日（月）10:00～12:00
  - 場所：オンライン（Webex）
  - 主な議題：
    - 動向調査結果
    - CS に関する干渉試験結果
    - 気象レーダーに関する干渉試験結果
    - 沿岸監視用レーダーの技術的条件（骨子案）

- 第三回調査検討会
  - 日時：2023 年 2 月 9 日（木）13:30～15:30
  - 場所：オンライン（Webex）
  - 主な議題：
    - 気象レーダーに関する干渉試験結果
    - 沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）
    - 報告書構成（案）

- 第四回調査検討会
  - 日時：2023 年 3 月 14 日（火）15:00～17:00
  - 場所：オンライン（Webex）
  - 主な議題：
    - 沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）
    - 報告書（案）

6. まとめ

本調査検討は、今後、需要の高まりに応じてＸ帯沿岸監視用レーダーの設置数が増加することによって周波数がひっ迫することを解消するため、Ｘ帯沿岸監視用レーダー等の技術的条件を検討することにより、異レーダー間の周波数共同利用を促進するものであり、Ｘ 帯沿岸監視用レーダー等の高度化に資することを目的に実施した。

Ｘ帯状況調査では 8.85-9.0GHz 帯（8.9GHz 帯）、9.3-9.5GHz 帯（9.4GHz 帯）、9.8-10GHz 帯（9.8GHz 帯）の各周波数帯域における国内の分配状況を調査した。その結果、船舶航行用レーダー、航空機用気象レーダーは増加傾向にあり、9.4GHz 帯気象レーダーはゲリラ豪雨等の観測を目的として導入が進むと期待されている。総じて 9.3-9.5GHz 帯は各種レーダーで混みあっている状況である。

令和２年度の調査では、沿岸監視用レーダーの市場規模は 2019 年で８億米ドルであり、年成長率は 2.1%であった。沿岸監視用レーダーは重要な港湾、重要な河川港を中心に設置されており、今後これらの更新需要に加え、中小クラスの港、石油備蓄基地、船が行き交う河川等にも設置が進むと考えられている。さらに、将来、自律運航船舶の導入がなされると沿岸域の陸側にセンサを設置する目的で、沿岸監視用レーダーの設置が増える可能性もある。

海外へ輸出する際に求められる沿岸監視用レーダーの主要諸元として IALA ガイドラインのカテゴリ“Standard”が引用される場合が多い。今後はより広範囲の探知が可能で、より解像度の高い製品への需要が高まると予想されている。

上記の動向を踏まえ、複数帯域対応型沿岸監視用レーダー向けアンテナの仕様策定・設計・試作の際、現在の沿岸監視用レーダーの諸元をもとに、複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの仕様を検討し、耐風速向上を考慮した輻射部形状検討、駆動部設計を行い、複数帯域対応型沿岸監視用レーダー向けアンテナを試作した。ユーザの要求や将来動向等を踏まえ、IALA ガイドラインにおける“Standard”相当の性能のレーダーを検討対象とした。現行国内規定との整合において仕様を満足できないと思われる項目については、レーダー性能に与える影響等を踏まえ、技術的条件の検討の中でどのように反映するかも含めて検討した。8.9GHz、9.4GHz、9.8GHz 帯の中で重量増となる可能性が最も低い、9.8GHz 帯でアンテナを試作し、8.9GHz 帯、9.4GHz 帯の検討を行った。また以下の観点から共用化の検討を行った。

周波数共用化の観点から、まず各周波数帯域における影響度を比較するために、沿岸監視用レーダーと気象レーダー、船舶航行用レーダーの干渉シミュレーションを行い、共用可能性について簡易的な条件で検討した。その結果、9.8GHz 帯の沿岸監視用レーダーを用いた場合に、被干渉局への影響が最も小さくなるという結果となった。

次に経済合理性の観点から部品の共用化の観点から、輻射部、駆動部、送受信部の 3 点が複数周波数対応型レーダーを構成する装置とした場合、複数周波数への対応方法として、装置の部分交換もし

くは部品交換、同じ装置での対応が可能かを検討した。輻射部については、8.9GHz 帯は設計仕様を未達となり輻射部の共用が難しく、9.3GHz 帯は設計仕様を満たすものの放射特性のばらつきについて懸念が見られた。9.8GHz 帯については設計仕様を満たすことが明らかとなり、共用可能であると考えられた。駆動部、固体化送受信機についても試作・評価を行い、設計仕様を満たすことを確認した。

共用条件の検討のため気象レーダー、船舶航行用レーダー、航空機用気象レーダーを対象に干渉シミュレーションにより干渉影響を机上検討した。9.8GHz 帯については過去の技術試験事務等での干渉検討事例が少ないため、試作した複数帯域対応型の沿岸監視用レーダーを用いて CS 受信機と気象レーダー装置への干渉影響について屋外実証試験を実施することとした。屋外実証試験は館山実験局ならびに船形漁港に無線システムを設置し実施した。

以上の干渉検討結果に基づき、沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）を策定した。技術的条件はマグネトロン方式と固体化方式で異なるものとし、また周波数帯は既存沿岸監視用レーダーが使用している 9.4GHz（9,400MHz）帯ならびに 9.7GHz（9,740MHz）帯と、複数帯域対応周波数帯として 9.8GHz（9,800MHz）帯を想定し、それぞれの周波数帯で技術的条件を設けることとした。ただし 9.4GHz 帯は船舶用レーダーと同様の技術的条件とした。

付録 1 開催要綱

X 帯沿岸監視用レーダー調査検討会
開催要綱

1. 名 称

本会の名称は「X 帯沿岸監視用レーダー調査検討会」（以下「調査検討会」という。）とする。

2. 背景・目的

X 帯沿岸監視用レーダーは昨今のテロ対策にも利用され、重要拠点のセキュリティ対策等での需要が高まっており、今後十年間における X 帯沿岸監視用レーダーの新規設置及び固体素子型への更新数は全国で計 150 件（海上保安、発電所、石油備蓄、天然ガス基地、漁場監視他）を超える見込みであり、既存の 9.7GHz 帯では干渉が増大することが見込まれている。

対して、X 帯気象用レーダーは、地球温暖化と都市化に伴い豪雨被害が甚大化する傾向があり、これを早期に検知し対策するため、従来のパラボラ型気象用レーダーよりも短時間で高精度な観測が可能なフェーズドアレイ型気象用レーダー等の次世代高機能レーダーへの需要が高まっており、今後、設置数が増加しさらに干渉が増加することが見込まれている。

本技術試験事務は、今後、需要の高まりに応じて X 帯沿岸監視用レーダーの設置数が増加することによって周波数がひっ迫することを解消するため、X 帯沿岸監視用レーダー等の技術的条件（案）を検討することにより、異レーダー間の周波数共同利用を促進するものであり、X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化に資することを目的とする。

なお、本技術試験事務は 3 年間の計画で、一昨年度は沿岸監視用レーダーの国内外動向調査、複数帯域対応型空中線の設計検討を行い、昨年度は沿岸監視用レーダーとの共用検討を行うための同一及び隣接周波数帯におけるレーダーの状況調査、複数帯域対応型送受信部の設計・試作を行った。今年度は複数帯域対応型沿岸監視用レーダーの実証試験及び技術的条件（案）の策定を行う。

3. 調査検討項目

調査検討会は、X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件（案）策定に向け、以下の項目について検討を行う。

- 沿岸監視用レーダー等に関する技術動向等の調査検討
- 総合実証試験（屋外）の準備と実施
- 3 年間の実施結果の取りまとめ
- 沿岸監視用レーダーの技術的条件（案）の作成

4. 構 成

調査検討会は、座長、構成員及びオブザーバにより構成する。

5. 運 営

- 調査検討会は、座長が招集し、主宰する。

- 調査検討会の資料の取り扱いには十分注意し、許可なく第三者に開示しないものとする。
- その他、調査検討会の運営に関する事項は、調査検討会において定める。

6. 設置期間等

設置期間は、設置の日から令和 5 年 3 月 31 日までとする。

7. 事務局

調査検討会の事務局は、株式会社三菱総合研究所及び日本無線株式会社が行う。

X 帯沿岸監視用レーダー調査検討会　構成員

区分	氏名	所属・役職
座長	庄司 るり	東京海洋大学 教授 理事・副学長
構成員	柿元 生也	三菱電機株式会社　通信機製作所 インフラ情報システム部 監視管制システム課 専任
構成員	加藤 敦	株式会社 JAL エンジニアリング 技術部 システム技術室 電装技術グループ
構成員	工藤 忠則	海上保安庁 交通部整備課 主任技術官（第二機器担当）
構成員	斎藤 秀樹	国土交通省 大臣官房 技術調査課 電気通信室 電気通信第一係 係長
構成員	清水 昭典	古野電気株式会社 システムソリューション ビジネスユニット ソリューション開発課 課長
構成員	多賀谷 裕	一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会 ICT 基盤部 部長
構成員	田北 順二	一般社団法人全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
構成員	田島 慶一	スカパーJSAT 株式会社 サービス技術部 上席専任主幹
構成員	橋田 芳男	東芝インフラシステムズ株式会社 小向事業所 フェロー
構成員	花土 弘	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター リモートセンシング研究室 研究マネージャー
構成員	本多 康伸	一般社団法人日本航路標識協会 教育訓練部長
構成員	村井 康二	東京海洋大学 学術研究院 海事システム工学部門 教授
構成員	米本 成人	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 監視通信領域 上席研究員
オブザーバ	吉野 哲也	防衛省 整備計画局 情報通信課 電磁波政策室 防衛部員
オブザーバ	渡辺 貴之	総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 周波数調整官
オブザーバ	芦澤 宏和	総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 課長補佐
オブザーバ	田野 正行	総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 重要無線室 課長補佐
オブザーバ	石黒 丈博	総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 基幹通信室　課長補佐

付録 2 沿岸監視用レーダーの技術的条件(案)

1. 一般的条件

1.1 適用範囲

この技術的条件は、9,740MHz 帯及び 9,800MHz 帯沿岸監視用レーダーに対して適用する。

1.2 周波数帯

X 帯沿岸監視用レーダーの周波数帯は、送信機の最終段増幅器の方式により、以下とする。

マグネトロン方式

9,740MHz

固体化方式

9,740MHz ± 15MHz

9,850MHZ ± 15MHz

2. 送信装置の条件

2.1. 変調方式及び」電波の型式

変調方式はパルス変調とすることが適当である。電波の型式は、マグネトロン方式では P0N、固体化方式は P0N、Q0N、V0N とすることが適当である。

2.2. 搬送波の周波数

電波の型式が P0N の搬送波の周波数は、電波の型式が Q0N の搬送波の周波数より低い周波数とすることを基本とする。ただし、隣接する無線システムの状況によって P0N が Q0N よりも高い周波数を利用することを許容する。

また、これらは同時に送信しないこと。

2.3. 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差は、マグネトロン方式では百万分率で 1,250、固体化方式では恒温槽付水晶発振器や温度補償水晶発振器が高い周波数精度を確保できることから、百万分率で 300 とすることが適当である。

2.4. 占有周波数帯幅の許容値

占有周波数帯幅の許容値は、以下とすることが適当である。

マグネトロン方式

9,740MHz 帯

P0N は 40MHz 以下

固体化方式

9,740MHz 帯

P0N は 25MHz 以下
- Q0N は 24MHz 以下

9,800MHz 帯
- P0N は 58MHz 以下
- Q0N は 24MHz 以下

2.5. 等価等方輻射電力（EIRP）

EIRP は以下とすることが適当である。

マグネトロン方式

9,740MHz 帯：82dBW 以下

固体化方式

9,740MHz 帯：58dBW 以下

9,800MHz 帯：62dBW 以下

2.6. 空中線電力

空中線電力は以下とすることが適当である。ただし、EIRP の値を超えないこと。

マグネトロン方式

9,740MHz 帯：50kW

固体化方式

9,740MHz 帯：700W

9,800MHz帯：700W

2.7. 空中線電力の許容偏差

空中線電力の許容偏差は、上限 50%、下限 50%とすることが適当である。

2.8. 送信パルス幅

送信パルス幅は以下とすることが適当である。

マグネトロン方式

9,740MHz 帯：0.1μs 以上

固体化方式

9,740MHz 帯

P0N：0.16μs 以上

Q0N：22μs 以下

9,800MHz 帯

P0N：0.07μs 以上

Q0N：30μs 以下

2.9.送信繰り返し周波数

送信繰り返し周波数は 3kHz 以下とすることが適当である。

2.10. 平均電力

EIRP と送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定するため規定しない。

2.11. 電力パルス幅積

EIRP と送信パルス幅及び送信繰り返し周波数で規定するため規定しない。

3.スプリアス発射の強度

3.1.帯域外領域

無線測位業務を行う無線局の送信設備の帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数は、ITU-R 勧告 SM.1541-5 Annex 8 の条件に適合することとする。

帯域外領域のスプリアス発射の強度の許容値は、図 1 から図 5 に示すように占有周波数帯と帯域外領域の指定によって定める。

具体的には ITU-R 勧告 SM.1541 Annex8 に従い B-40 帯域と帯域外領域のマスクを規定する。B-40 帯域内側は、ITU-R 勧告 SM.1541Annex8 の必要周波数帯幅を参照し、-20dBc 以下とする。固体化方式においては、送信周波数±65MHz 以外の B-40 帯域は-40dBc 以下とする。帯域外領域において、B-40 帯域より外側の 30dB/decade で低減する領域は、その低減スロープを超えないこととする。

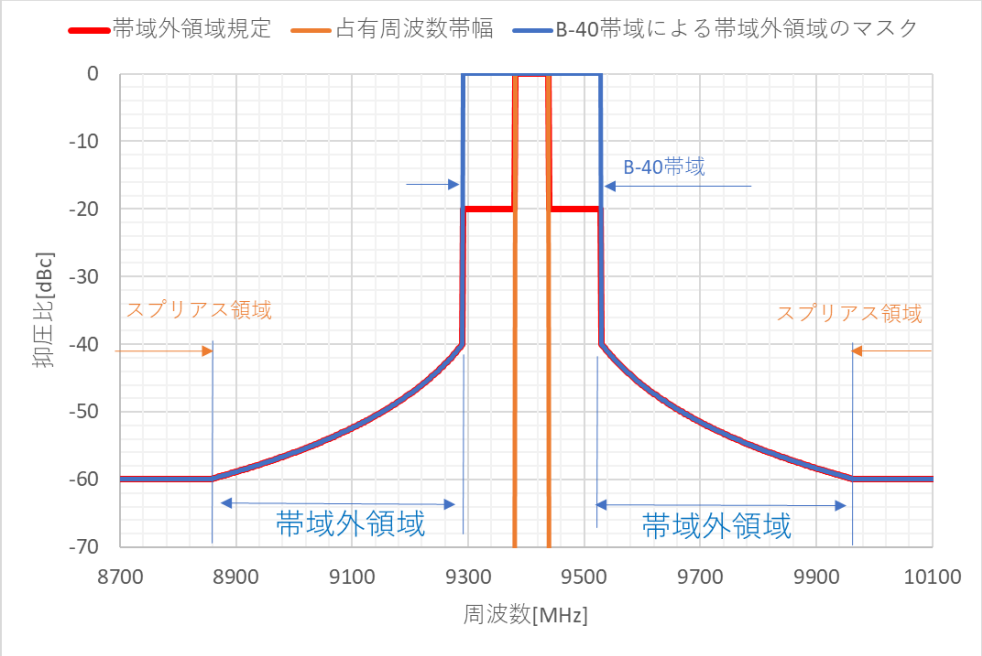


図 1 9,410MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 58MHz、B-40 帯域幅 240MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

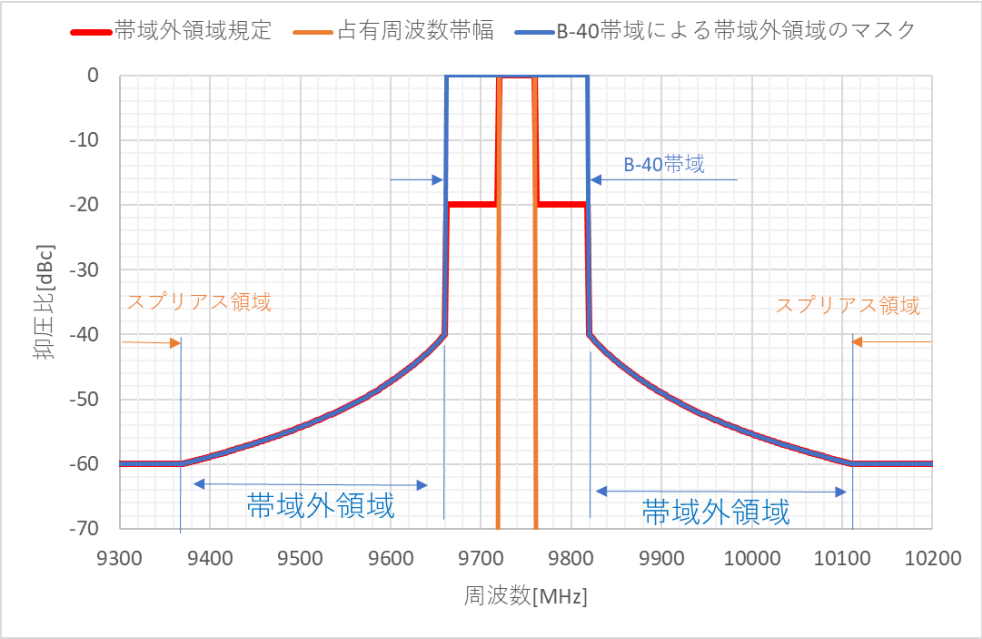


図２　9,740MHz マグネトロンレーダーの場合のスペクトラム規定値

※占有周波数帯幅 40MHz、B-40 帯域幅 160MHz とした場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

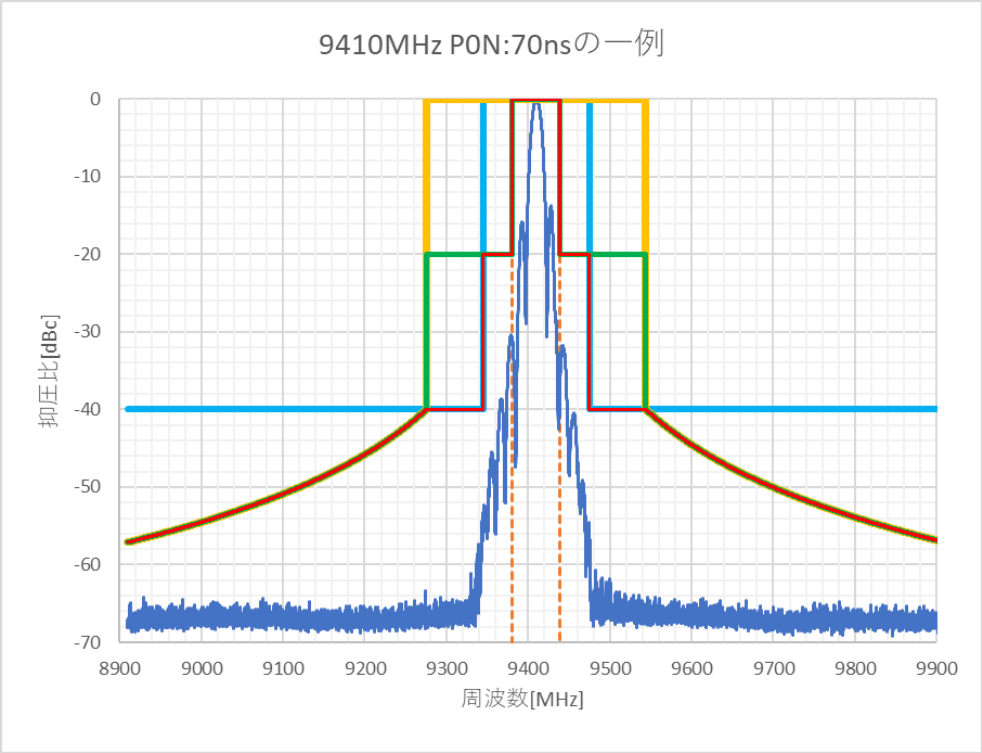


図３　9,410MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

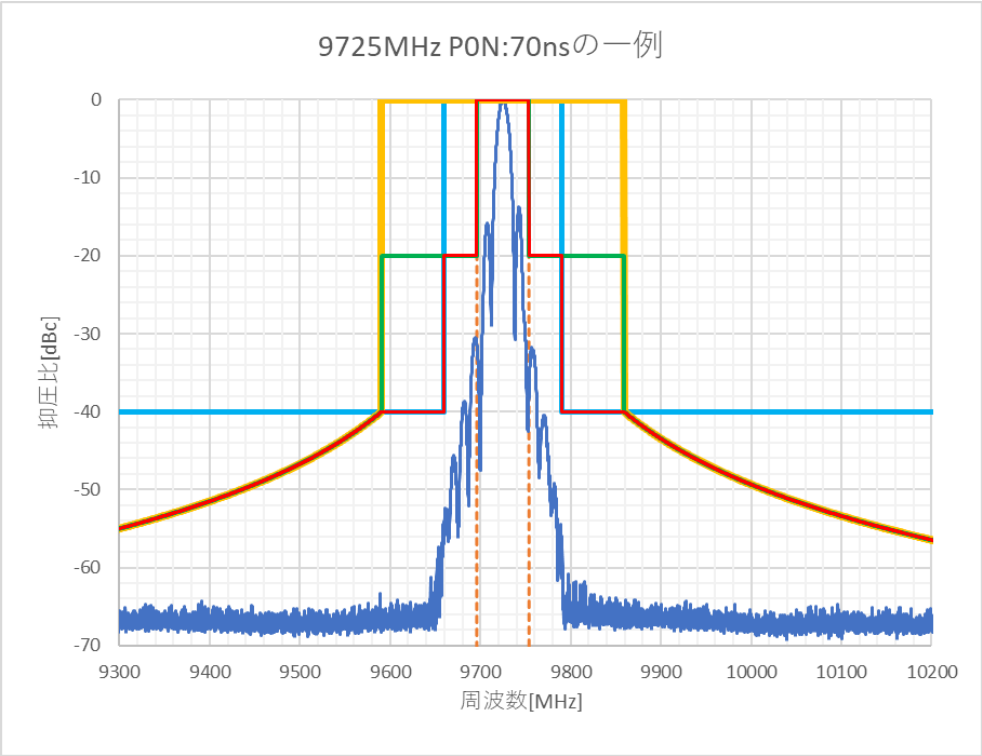


図４　9,740MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9725MHz で P0N 信号を送信する場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

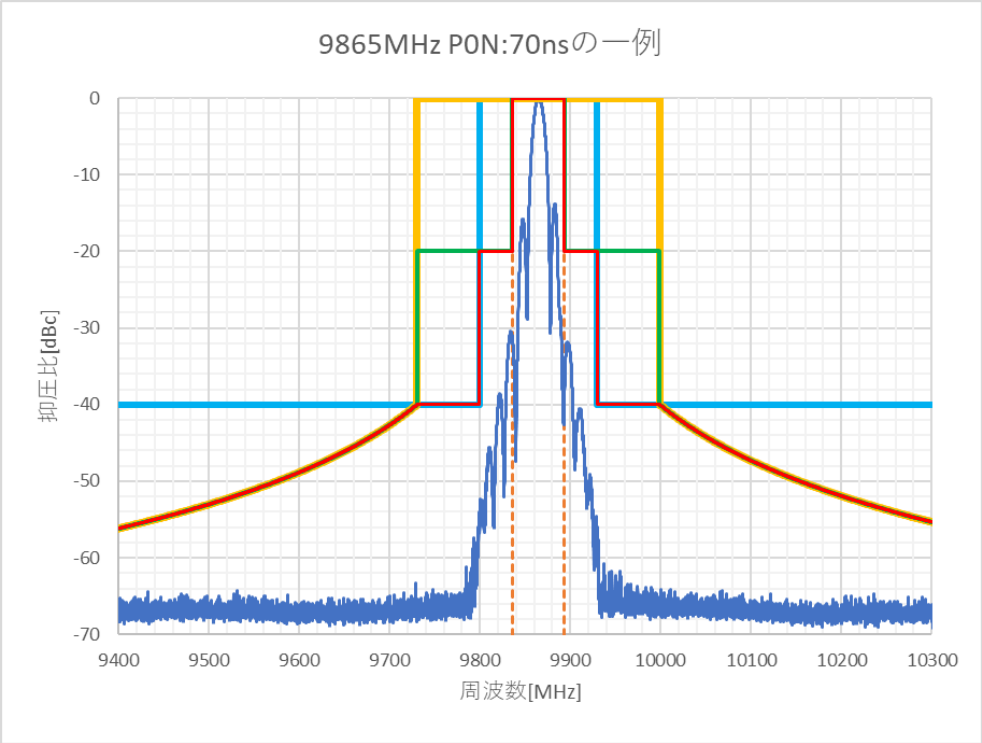


図５　9,800MHz 固体化レーダーの場合のスペクトラム規定値

※9865MHz で P0N 信号を送信した場合の例。図中の赤線がスペクトラム規定値を指す。

3.2. スプリアス領域の不要発射

基本周波数の尖頭電力より、60dB 低い値とすることが適当である。なお、参照周波数帯幅及び帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数は、ITU-R 勧告 SM.1541-5 Annex 8 の条件に適合することが適当である。

4. 空中線

4.1. 空中線利得

空中線利得については、EIRP、空中線電力での規定を満足すればよいので、規定しない。

5. 受信装置

5.1. 副次的に発する電波等の限度

現行無線設備規則第 24 条の規定のとおり、X 帯沿岸監視用レーダーについても、受信機から副次的に発する電波の限度は、4nW 以下とする。

6. 測定法

本節では、X 帯沿岸監視用レーダーの技術的条件のうち、測定法に関する項目について定める。

6.1. 周波数と、周波数の許容偏差の測定

スペクトラムアナライザを用いて実施する。

スペクトラムアナライザの設定は下記による。

周波数範囲：40dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと

周波数分解能：ITU-R 勧告 M.1177 Annex1 に従う

ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする

周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の2倍以上

周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと

検波モード：ポジティブピーク

パルス変調信号の測定のため下記により周波数を把握する。

P0N信号：最大ピークレベル

Q0N信号：3dB 幅の中央周波数

周波数の許容偏差は、指定される周波数と上記で測定した周波数の比とする。

6.2. 空中線電力

送受信装置の送信出力端にて観測する電力を、空中線電力とする。

高周波平均電力計を用い、平均電力を観測し空中線電力を求める。

平均電力から空中線電力（尖頭電力）を求めるので送信波形の測定を伴う。

レーダー送信は、P0N信号、Q0N信号など個別に送信する。なおV0N信号の場合は複合信号のまま送信する。

送信波形の測定は検波器を用いて次の事項を測定して送信時間率を求める。

送信繰り返し時間（詳細は別項による）
送信パルス幅時間（詳細は別項による）
送信時間率＝送信パルス幅[s]÷送信繰り返し時間[s]
高周波平均電力計での測定は以下とする。
使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること
測定値に対し送信時間率を除して、治具の損失で補正し空中線電力とする
ピークパワーメータでの測定は以下とする。
使用する減衰器や接続ケーブルなどの治具の損失は予め測定すること
尖頭電力を測定し、治具の損失で補正し空中線電力とする

6.3. EIRP の測定
EIRP（等価等方放射電力）は、空中線電力と工事設計書で判断する。
・空中線電力は、空中線電力の測定法にのっとり測定する。
工事設計書に記載される給電線の損失から下記式により EIRP を求める。
EIRP[dBW]＝空中線電力[dBm]+アンテナ利得[dBi]ー給電線損失[dB]ー30dB

6.4. 送信繰り返し周波数と送信パルス幅の測定
検波器とオシロスコープを用いて実施する。
検波器は下記とする
周波数帯が合致していること
変換特性が既知（校正）されていること。もしくは、測定の際に校正手段を講じること
測定場所は、送信機出力もしくは送受共用であればその出力端とする。
送信機出力から検波器に必要な電力まで信号を減衰し、検波器出力をオシロスコープに接続して、表示される波形について以下を測定する。
送信繰り返し周波数（逆数にすることで繰り返し時間）
送信パルス幅（振幅 50％点とする）

6.5. 占有周波数帯幅の測定
スペクトラムアナライザを用いて実施する。
スペクトラムアナライザの設定は下記による。
周波数範囲：50dBc 以下まで観測できる周波数範囲よりも広いこと
周波数分解能：ITU-R M.1177 Annex1 に従う
ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする
周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の2倍以上
周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
検波モード：ポジティブピーク
測定方法は下記のいずれかで実施する。
送信電力の総和を基にし、下記①②の周波数から周波数帯幅を測定する
①信号の下限観測値から累積した電力 0.5％の周波数

②信号の上限観測値から累積した電力 0.5%の周波数
③上記の周波数の差を占有周波数帯幅とする
スペクトラムアナライザの占有周波数帯幅測定機能で測定する

6.6 帯域外領域のスプリアス発射及びスプリアス領域の不要発射の測定
スペクトラムアナライザを用いて間接法で実施する。
帯域外領域とスプリアス領域の境界は下記による。
B-40 帯域の決定は ITU-R SM.1541 Annex8 による
B-40 帯域からの降下率は IRU-R SM.1541 に従い 30dB/decade とする
周波数の測定範囲は以下とする。
帯域外領域：帯域外領域よりも広いこと
スペクトラム領域：ITU-R SM.329 に従い 30MHz から 26GHz まで
スペクトラムアナライザの設定は下記による。
周波数掃引幅：帯域外領域の周波数幅よりも広いこと
周波数分解能：ITU-R M.1177 Annex1 に従う
ビデオ分解能：周波数分解能と同じ設定値とする
周波数観測点：周波数範囲を周波数分解能で除した値の2倍以上
周波数掃引時間：観測点を送信繰り返し時間で除した値よりも長いこと
検波モード：ポジティブピーク
測定方法は以下とする。
P0N 信号、Q0N 信号を各々測定する. V0N 信号は V0N 変調のまま実施する
送信信号の強度に対する不要輻射の信号強度の比を測定する

参考文献

(1) IALA, G1111 PREPARATION OF OPERATIONAL AND TECHNICAL PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR VTS SYSTEMS　Edition 1.0

(2) ITU-R, M.1177-4 Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems

(3) ITU-R, SM.329-12 Unwanted emissions in the spurious domain

(4) ITU-R, SM.1541-6 Unwanted emissions in the out-of-band domain

(5) 総務省総合通信基盤局電波部基幹通信課，9GHz帯気象レーダーを運用される方へ

- 干渉時間率計算詳細手順

X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討の請負

調査報告書

2023 年 3 月 31 日

株式会社三菱総合研究所
フロンティア・テクノロジー本部
TEL (03)6858-3729

添付資料

「X 帯沿岸監視用レーダー等の高度化のための技術的条件に関する調査検討の請負」

干渉時間率計算手順　補足資料

2023 年 3 月 31 日

1. 目次

1. 目次 1
2. 干渉時間率 2
2.1 結果一覧 2
2.2 計算手順 5
2.2.1 CW 方向走査における計算手順（気象、船舶レーダー計算用） 5
2.2.1.1 メインローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率 5
2.2.1.2 サイドローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率 8
2.2.1.3 メインローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率 9
2.2.1.4 サイドローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率 10
2.2.2 CW／CCW 往復操作における計算手順（航空気象レーダー計算用） 11
2.2.2.1 メインローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率 11
2.2.2.2 サイドローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率 14
2.2.2.3 メインローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率 15
2.2.2.4 サイドローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率 16
2.3 与干渉局：9,740MHz／被干渉局：9,720MHz_気象レーダー 17
2.3.1 計算用諸元 17
2.3.2 計算内容 17
2.4 与干渉局：9,850MHz／被干渉局：9,795MHz_気象レーダー 20
2.4.1 計算用諸元 20
2.4.2 計算内容 20
2.5 与干渉局：9,410MHz／被干渉局：9,410MHz_船舶用レーダー 23
2.5.1 計算用諸元 23
2.5.2 計算内容 23
2.6 与干渉局：9,410MHz／被干渉局：9,400MHz_航空機搭載用気象レーダー 26
2.6.1 計算用諸元 26
2.6.2 計算内容 26

2.　干渉時間率

「前提（全体）」

- ✓ 与干渉局と被干渉局の干渉は、それぞれのメインローブ・サイドローブいずれが重なるかによって干渉の程度が異なることから、ローブの重なる頻度（時間率）を評価することとした。
- ✓ 本書にて計算する干渉時間率は、与干渉局・被干渉局が各 1 局の状況を仮定したものである（航空機搭載用気象レーダーについてのみ､与干渉局が 4 局の状況を仮定したケースの検討も実施した）。現実の環境における干渉時間率は、必要な最小離隔距離より近傍における与干渉局の局数に応じて計算結果に乗算をおこなう必要がある。
- ✓ 干渉時間率の計算は、同一帯域もしくは近接帯域のレーダーとの組み合わせのみで実施する。
  ※例えば、与局：9,800MHz／被局：9,400MHz のような別帯域の無線機同士では、無線周波数の離調効果により、干渉レベルは無視できるレベルにまで抑圧できているものと考える。

本書にて干渉時間率計算を行った与干渉局と被干渉局の組み合わせは下表の通り。

No.	与干渉局		被干渉局	
	レーダー	周波数帯 [MHz]	レーダー	周波数帯 [MHz]
1）	沿岸監視用	9,700	気象用	9,700
2）	沿岸監視用	9,800	気象用	9,700
3）	沿岸監視用	9,400	船舶用	9,400
4）	沿岸監視用	9,400	航空機搭載用気象	9,400
5）	沿岸監視用（4 局）	9,400	航空機搭載用気象	9,400

2.1 節は､上表に示す与干渉局-被干渉局の各組み合わせでの干渉時間率計算結果を一覧として示す。2.2 節は干渉時間率の諸元によらない一般的な計算手順を述べ、2.3～2.6 節にて各組み合わせに対応した諸元を用いて干渉時間率の数値が得られるまでの計算過程を表形式で示す。

2.1　結果一覧

1）与干渉局：9,700MHz 帯／被干渉局：9,700MHz 帯_気象レーダー

与干渉局が 9,700MHz 帯、被干渉局が 9,700MHz 帯の気象レーダーの場合の計算結果は下表の通り。

No.	内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
	被干渉局	与干渉局		
①	メインローブ受信	メインローブ送信	4.959E-06	0.018
②	サイドローブ受信	メインローブ送信	2.132E-04	0.768
③	メインローブ受信	サイドローブ送信	8.678E-04	3.124
④	サイドローブ受信	サイドローブ送信	6.330E-02	227.87

２）与干渉局：9,800MHz 帯／被干渉局：9,700MHz 帯_気象レーダー

与干渉局が 9,800MHz 帯、被干渉局が 9,700MHz 帯の気象レーダーの場合の計算結果は下表の通り。

No.	内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
	被干渉局	与干渉局		
①	メインローブ受信	メインローブ送信	1.433E-05	0.052
②	サイドローブ受信	メインローブ送信	6.160E-04	2.218
③	メインローブ受信	サイドローブ送信	2.507E-03	9.025
④	サイドローブ受信	サイドローブ送信	1.829E-01	658.31

３）与干渉局：9,400MHz 帯／被干渉局：9,400MHz 帯_船舶用レーダー

与干渉局が 9,400MHz 帯、被干渉局が 9,400MHz 帯の船舶用レーダーの場合の計算結果は下表の通り。

No.	内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
	被干渉局	与干渉局		
①	メインローブ受信	メインローブ送信	1.334E-04	0.480
②	サイドローブ受信	メインローブ送信	0	0.000
③	メインローブ受信	サイドローブ送信	0	0.000
④	サイドローブ受信	サイドローブ送信	1.627E-02	58.58

４）与干渉局：9,400MHz 帯／被干渉局：9,400MHz 帯_航空機搭載用気象レーダー
（与干渉局：1 局／被干渉局：1 局）

与干渉局が 9,400MHz 帯、被干渉局が 9,400MHz 帯の航空機搭載用気象レーダーでいずれも 1 局の場合の計算結果は下表の通り。

No.	内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
	被干渉局	与干渉局		
①	メインローブ受信	メインローブ送信	6.490E-06	0.023
②	サイドローブ受信	メインローブ送信	3.050E-04	1.098
③	メインローブ受信	サイドローブ送信	7.781E-03	28.012
④	サイドローブ受信	サイドローブ送信	3.021E-02	108.744

５）与干渉局：9,400MHz 帯／被干渉局：9,400MHz 帯_航空機搭載用気象レーダー

（与干渉局：4 局／被干渉局：1 局）

与干渉局が 9,400MHz 帯、被干渉局が 9,400MHz 帯の航空機搭載用気象レーダーで与干渉局が 4 局の場合の計算結果は下表の通り。単純に干渉時間および干渉時間率を 4 倍することで値を得ている。

No.	内容		干渉時間率（1 時間中）	干渉時間（1 時間中）[sec]
	被干渉局	与干渉局		
①	メインローブ受信	メインローブ送信	2.596E-05	0.093
②	サイドローブ受信	メインローブ送信	1.220E-03	4.392
③	メインローブ受信	サイドローブ送信	3.112E-02	112.047
④	サイドローブ受信	サイドローブ送信	1.208E-01	434.977

2.2　計算手順

計算手順はアンテナ操作方法によって異なる。ここでは被局のうち気象および船舶用レーダーは、CW(clockwise)方向走査のみとし、航空気象レーダーは CW／CCW(counterclockwise)の往復操作としてそれぞれの計算手順を示す。なお、与干渉局は CW 方向の走査のみとする。

以降に示す計算手順において用いる言葉を以下の通り定義する。

- 「会合」：与局・被局のアンテナ輻射面が向き合って、メインローブ同士が重なる状態
- 「与局が（被局に）正対」：被局アンテナがどの方向を向いているかに関係なく、与局のアンテナのメインローブが被局アンテナに向いている状態
- 「被局が（与局に）正対」：局アンテナがどの方向を向いているかに関係なく、被局のアンテナのメインローブが与局アンテナに当たっている状態

ただし、「与局が正対」「被局が正対」いずれの時間帯にも「会合」している時間が含まれることに注意する。

2.2.1 CW方向走査における計算手順（気象、船舶レーダー計算用）

以下、干渉時間率の計算内容を提示する。式中で用いる略語を以下のように定義する。

- 被局：被干渉局レーダー
- 与局：与干渉局レーダー
- ビーム幅：30dB ビーム幅と定義する（3dB ビーム幅の 2.44 倍[1]）

2.2.1.1 メインローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のメインローブと与局のメインローブが重なる時間率（以下、「メインローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」という）の計算手順は以下の通り。

以下を外部パラメータとする。本文中では ID を用いて参照する。

ID	項目		内容
(pa)	被局	受信処理する電波型式。 Q0Nではパルス圧縮を前提とする。	外部パラメータ pa = 0 , then P0N pa = 1 , then Q0N
(pb)	被局	3dB水平ビーム幅	外部パラメータ
(pc)	被局	アンテナ回転数	外部パラメータ
(pd)	被局	送信パルス幅	外部パラメータ
(pe)	与局	3dB水平ビーム幅	外部パラメータ
(pf)	与局	アンテナ回転数	外部パラメータ
(pg)	与局	送信パルス幅	外部パラメータ
(ph)	与局	送信繰り返し周波数	外部パラメータ

① 会合周期

会合の頻度は、お互いのアンテナ回転数[rpm]の最大公約数（GCD）である。演算の都合上、引数を整数化するため 10 倍する。なお 10 倍した後は小数点以下第 1 位を四捨五入（ROUND）する。

[1] この理由については報告書本文参照

水平方向会合アンテナ回転数[rpm]

=GCD { ROUND ((pc)被局_アンテナ回転数 × 10, 0),

ROUND((pf)与局_アンテナ回転数 × 10, 0) } / 10 …(aa)

(aa)水平方向会合アンテナ回転数 より水平方向会合周期は、以下の通り。

水平方向会合周期[sec] = 60sec / (aa)水平方向会合アンテナ回転数 …(ab)

なお、被局の運用方法によっては垂直方向でメインビーム同士が常に会合している状況となり得ることから、垂直方向は常にメインビーム同士が会合しているというワーストケースを考えることとし、以降垂直方向については考慮しない。

ここで、水平・垂直ともに会合する周期は、水平方向会合周期と垂直方向会合周期の最小公倍数であるが、垂直方向は常時会合することを仮定するため、(ab)の水平方向の会合周期そのものとなる。

会合周期[sec] = (ab)水平方向会合周期 …(ac)

② メインビーム-メインビームの会合時間

1 度の会合中のメイン-メインの時間（メインビームとメインビームが重なる時間）を考える。

被局と与局の水平ビーム時間は、アンテナ回転数と 3dB 水平ビーム幅諸元と、3dB と 30dB のビーム幅比率（3dB ビーム幅の 2.44 倍）から計算できる。詳細は以下の通り。

なお、「30dB 水平ビーム時間」を「水平ビーム時間」と記載することとする。

被局_3dB 水平ビーム時間[sec]

= (pb)被局_3dB 水平ビーム幅[°] × (60[sec] / (pc)被局_アンテナ回転数 / 360[°])

…(ad)

与局_3dB 水平ビーム時間[sec]

= (pe)与局_3dB 水平ビーム幅[°] × (60[sec] / (pf)与局_アンテナ回転数 / 360[°])

…(ae)

被局_水平ビーム時間[sec] = (ad)被局_3dB 水平ビーム時間 × 2.44 …(af)

与局_水平ビーム時間[sec] = (ae)与局_3dB 水平ビーム時間 × 2.44 …(ag)

ここで会合時間は与局、被局それぞれの水平ビーム時間のうち、短いものに依存する。

すなわちメインローブとメインローブが正対する時間は、(ac)会合周期 ごとに、(af)被局_水平ビーム時間 と (ag)与局_水平ビーム時間 の短い方の時間だけ会合することとなる。

会合時間[sec] = (af)被局_水平ビーム時間, (af) <= (ag) の時

= (ag)与局_水平ビーム時間, (af) > (ag) の時 …(ah)

会合時間率 = (ah)会合時間 / (ac)会合周期 …(ai)

③　干渉に相当するパルス幅

被干渉側の受信処理を考慮し画面上に表示される「干渉に相当するパルス幅」は、以下の通り。なお以下の Q0N パルス処理の際は、パルス圧縮処理を想定している。

干渉パルス幅[sec] =　与干渉局パルス幅,　(pa) = 0　で P0N パルス処理の時
　　= 与干渉局パルス幅＋被干渉局パルス幅,　(pa) = 1　で Q0N パルス処理の時
…(aj)

④　干渉パルス duty

この干渉パルス幅を duty 換算するが、干渉を発生させるトリガはあくまでも与干渉局であるため、与干渉局の送信繰り返しを用いて計算をおこなう。

干渉パルス幅 duty = (aj)干渉パルス幅　×　(ph)与干渉局送信繰り返し周波数　…(ak)

⑤　メインビーム-メインビーム時間率

(ai)会合時間率　に、(ak)干渉パルス幅 duty　を加味することで、被局側が影響を受ける「メインローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」が得られる。

メインローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率
=　(ai)会合時間率　×　(ak)干渉パルス幅 duty　…(al)

2.2.1.2 サイドローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のサイドローブと与局のメインローブが重なる時間率（以下、「サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」という）の計算手順は以下の通り。

① 与局のアンテナ回転周期

被局のアンテナ向きを考慮しない（あらゆる方向にビームを放射していると考える）とき、与局が被局に正対する周期は、与局のアンテナ回転周期そのものとなる。

与局_アンテナ回転周期[sec] = 60[sec] / (pf)与局_アンテナ回転数　…(ba)

② 与局のメインローブ時間

与局が被局方向を向く時間のうち、与局_メイン（被局に、与局のメインローブが入射する状況）となる時間は、(ag)与局_水平ビーム時間 である。

与局_メイン時間[sec] = (ag)与局_水平ビーム時間　…(bb)

③ 与局のメインローブ正対時間率

被局のアンテナ向きを考慮しないとき、与局のメインローブが被局に正対する時間率は次式となる。

与局_正対メイン時間率 = (bb)与局_メイン時間 / (ba)与局_アンテナ回転周期　…(bc)

これに干渉パルス幅 duty を加味する。

与局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率
= (bc)与局_正対メイン時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty　…(bd)

ただし上記時間にはメインローブとメインローブが正対する時間「メイン-メイン時間」を含むため、これを計算し、除外する。まず「1 時間中のメイン-メイン時間」は次式となる。。

1 時間中のメイン-メイン時間[sec] = 3,600[sec] × (al)メイン-メイン時間率　…(be)

(bd)にもとづき、被局のアンテナ向きを考慮しないときの「1 時間中の、干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間」は次式となる。

与局_1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間[sec]
= 3,600[sec] × (bd)与局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率　…(bf)

したがって、1 時間中で被局のサイドローブと与局のメインローブが重なる時間は次式となる。

1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間[sec]
= (bf)与局_1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間
− (be)1 時間中のメイン-メイン時間　…(bg)

④ サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率

被局のサイドローブと与局のメインローブが重なる時間率「サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」は以下の式で得られる。

サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率
= (bg)1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間 / 3,600[sec]　…(bh)

2.2.1.3 メインローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間率（以下、「メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」という）の計算手順は以下の通り。

① 被局のアンテナ回転周期

与局のアンテナ向きを考慮しない（あらゆる方向にビームを放射していると考える）とき、被局が与局に正対する周期は、被局のアンテナ回転周期そのものとなる。

被局_アンテナ回転周期[sec] = 60[sec] / (pc)被局_アンテナ回転数　　…(ca)

② 1 時間中で被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間

与局が被局方向を向く時間のうち、被局_メイン（被局が与局方向にメインローブを放射する）となる時間は、(af)被局_水平ビーム時間 となる。

被局_メイン時間[sec] = (af)被局_水平ビーム時間　　…(cb)

以上から与局のアンテナ向きを考慮しないとき、被局のメインローブが与局に正対する時間率は次式となる。

被局_正対メイン時間率 = (cb)被局_メイン時間 / (ca)被局_アンテナ回転周期　　…(cc)

これに干渉パルス幅を加味する。

被局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率
= (cc)被局_正対メイン時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty …(cd)

ただし上記時間にはメインローブとメインローブが正対する時間を含むため、これを除外する。
(cd)にもとづき、与局のアンテナ向きを考慮しないときの「1 時間中の、送信パルス幅 duty を加味した正対メイン時間」は次式となる。

被局_1 時間中の送信パルス duty を加味した正対メイン時間[sec]
= 3,600[sec] × (cd)被局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率　…(ce)

これより、1 時間中で被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間は次式となる。

1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間[sec]
= (ce)被局_1 時間中の送信パルス duty を加味した正対メイン時間
− (be)1 時間中のメイン-メイン時間　　…(cf)

③ メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率

被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間率「メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」が得られる。

メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率
= (cf)1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間 / 3,600[sec]　　…(cg)

2.2.1.4 サイドローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間率（以下、「サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」という）の計算手順は以下の通り。

① 被局が与局に正対しない時間

被局が与局に正対しない（被局が与局方向にはメインビームを放射していない）時間は、(ca)被局_アンテナ回転周期（与局のアンテナ向きを考慮しないとき、被局が与局に正対する周期）のうち、被局_メインビーム（被局が与局方向にメインローブを放射している状況）以外の時間となる。ここで与局に正対する時間は、(cb)被局_メイン時間である。

被局_メインビーム以外の時間[sec]

= (ca)被局_アンテナ回転周期 − (cb)被局_メイン時間 …(da)

② 1 時間中で被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間

被局が与局に正対しない時間率は以下の通り。

被局_メインビーム以外の時間率

= (da)被局_メインビーム以外の時間 / (ca)被局_アンテナ回転周期 …(db)

これに干渉パルス幅 duty を加味すると次式となる。

干渉パルス幅 duty を加味した被局_メインビーム以外の時間率

= (db)被局_メインビーム以外の時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty …(dc)

ただし上記時間には被局のサイドローブと与局のメインローブが正対する時間を含むため、これを除外する。

(dc)にもとづき、「1 時間中の、干渉パルス duty を加味したメインビーム以外が会合する時間」は次式となる。

被局_1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間[sec]

= 3600[sec] × (dc)被局_干渉パルス幅 duty を加味したメインビーム以外の時間 …(dd)

したがって、1 時間中で被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間は次式となる。

1 時間中のサイド-サイド時間[sec]

= (dd)被局_1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間

− (bg)1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間 …(de)

③ サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率

被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間率「サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」が得られる。

サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率

= (de)1 時間中のサイド-サイド時間 / 3,600[sec] …(df)

2.2.2 CW／CCW往復操作における計算手順（航空気象レーダー計算用）

2.2.2.1 メインローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のメインローブと与局のメインローブが重なる時間率（「メインローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」）の計算手順は以下の通り。

以下を、外部パラメータとする。本文中では ID を用いて参照する。

ID	項目		内容
(pa)	被局	受信処理する電波型式。 Q0Nではパルス圧縮を前提とする。	外部パラメータ pa = 0 , then P0N pa = 1 , then Q0N
(pb)	被局	3dB水平ビーム幅	外部パラメータ
―	―	―	―
(pd)	被局	送信パルス幅	外部パラメータ
(pe)	与局	3dB水平ビーム幅	外部パラメータ
(pf)	与局	アンテナ回転数	外部パラメータ
(pg)	与局	送信パルス幅	外部パラメータ
(ph)	与局	送信繰り返し周波数	外部パラメータ
(pi)	被局	走査角度幅	外部パラメータ
(pl)	被局	往復走査時間	外部パラメータ

被局の特有の諸元としてアンテナ回転方向が CW／CCW と往復することを考える。

ここで、(pl)往復走査時間 は、この時間中にメイン-メインが 2 回発生することを意味するため、1 回の会合に相当する被局_アンテナ回転数を求める。この会合周期を算出するための被局のアンテナ回転数を「被局_アンテナ回転数①」と定義する。

被局_アンテナ回転数① = 60sec / { (pl)往復走査時間 / 2 }　　…(ka)

① 会合周期

水平方向のみの会合を考える。

会合の頻度は、お互いのアンテナ回転数[rpm]の最大公約数（GCD）である。演算の都合上引数を整数化するため 10 倍する。なお 10 倍した後は小数点以下第 1 位を四捨五入（ROUND）する。

水平方向会合アンテナ回転数[rpm]

=GCD { ROUND ((ka)被局_アンテナ回転数① × 10, 0),

ROUND((pf)与局_アンテナ回転数 × 10, 0) } / 10　　…(aa)

(aa)水平方向会合アンテナ回転数 より水平方向会合周期は、以下の通り。

水平方向会合周期[sec] = 60sec / (aa)水平方向会合アンテナ回転数　　…(ab)

ここで、水平・垂直ともに会合する周期は水平方向会合周期と垂直方向会合周期の最小公倍数であるが、2.2.1 同様に垂直方向は常時会合することを仮定すると、(ab)水平方向の会合周期 そのものとなる。

会合周期[sec] = (ab)水平方向会合周期　　…(ac)

② メインビームとメインビームの会合時間

1 度の水平会合中のメイン-メインの時間（メインビームとメインビームが重なる時間）を考える。

ここで、与局の水平ビーム時間は与局アンテナ回転数から算出できるが、被局はアンテナ回転が 1 方向でないため、「(ka)アンテナ回転数①」を使用することはできない。ここで被局は、(pi)走査角度幅 を (pl)往復走査時間 の半分の時間でスキャンする。よってこれを一方向に回転するアンテナに変換した「(kc)アンテナ回転数②」として置き換える。

被局_アンテナ 1 回転相当時間[sec] = { (pl)往復走査時間 / 2 } × { 360[°] / (pi)走査角度幅 } …(kb)

被局_アンテナ回転数②[rpm] = 60[sec] / (kb)被局_アンテナ 1 回転相当時間 …(kc)

被局と与局の水平ビーム時間はアンテナ回転数（もしくはアンテナ回転周期）と、3dB 水平ビーム幅諸元と、3dB と 30dB のビーム幅比率（3dB ビーム幅の 2.44 倍）から計算でき、以下の通り。

なお、「30dB 水平ビーム時間」を「水平ビーム時間」と記載することとする。

被局_3dB 水平ビーム時間[sec]

= (pb)被局_3dB 水平ビーム幅[°] × { (kb)被局_アンテナ 1 回転相当時間 / 360[°] } …(ad)

与局_3dB 水平ビーム時間[sec]

= (pe)与局_3dB 水平ビーム幅[°] × (60[sec] / (pf)与局_アンテナ回転数 / 360[°]) …(ae)

被局_水平ビーム時間[sec] = (ad)被局_3dB 水平ビーム時間 × 2.44 …(af)

与局_水平ビーム時間[sec] = (ae)与局_3dB 水平ビーム時間 × 2.44 …(ag)

ここで会合時間は与局、被局それぞれの水平ビーム時間のうち、短いものに依存する。

すなわちメインローブとメインローブが正対する時間は、(ac)会合周期 ごとに、(af)被局_水平ビーム時間 と (ag)与局_水平ビーム時間 の短い方の時間だけ会合することとなる。

会合時間[sec] = (af)被局_水平ビーム時間, (af) <= (ag) の時

= (ag)与局_水平ビーム時間, (af) > (ag) の時 …(ah)

会合時間率 = (ah)会合時間 / (ac)会合周期 …(ai)

③ 干渉に相当するパルス幅

被干渉側の受信処理を考慮し画面上に表示される「干渉に相当するパルス幅」は、以下の通り。なお以下の Q0N パルス処理の際はパルス圧縮処理を想定している。

干渉パルス幅[sec] = 与干渉局パルス幅, (pa) = 0 で P0N パルス処理の時

= 与干渉局パルス幅＋被干渉局パルス幅, (pa) = 1 で Q0N パルス処理の時 …(aj)

④　干渉パルス duty

この干渉パルス幅を duty 換算するが、干渉を発生させるトリガはあくまでも与干渉局であるため、与干渉局の送信繰り返しを用いて計算をおこなう。

干渉パルス幅 duty = (aj)干渉パルス幅 × (ph)与干渉局送信繰り返し周波数　…(ak)

⑤　メインビーム-メインビーム時間率

最後に (ai)会合時間率 に、(ak)干渉パルス幅 duty を加味することで、被局側が影響を受ける「メインローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」が得られる。

メインローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率

= (ai)会合時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty …(al)

2.2.2.2 サイドローブ（被干渉局）とメインローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のサイドローブと与局のメインローブが重なる時間率（「サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」）の計算手順は以下の通り。

① 与局のアンテナ回転周期

被局のアンテナ向きを考慮しない（あらゆる方向にビームを放射していると考える）とき、与局が被局に正対する周期は、与局のアンテナ回転周期そのものとなる。

与局_アンテナ回転周期[sec] = 60[sec] / (pf)与局_アンテナ回転数　…(ba)

② 与局のメインローブ時間

与局が被局方向を向く時間のうち、与局_メイン（被局に、与局のメインローブが入射する状況）となる時間は (ag)与局_水平ビーム時間 であり、

与局_メイン時間[sec] = (ag)与局_水平ビーム時間　…(bb)

③ 与局のメインローブ正対時間率

被局のアンテナ向きを考慮しないとき、与局のメインローブが被局に正対する時間率は、

与局_正対メイン時間率 = (bb)与局_メイン時間 / (ba)与局_アンテナ回転周期　…(bc)

これに干渉パルス幅 duty を加味すると

与局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率
= (bc)与局_正対メイン時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty　…(bd)

ただし上記時間にはメインローブとメインローブが正対する時間「メイン-メイン時間」を含むため、これを計算し、除外する。まず「1 時間中のメイン-メイン時間」は次の通り。

1 時間中のメイン-メイン時間[sec] = 3,600[sec] × (al)メイン-メイン時間率　…(be)

bd)にもとづき、被局のアンテナ向きを考慮しないときの「1 時間中の、干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間」は、

与局_1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間[sec]
=3,600[sec] × (bd)与局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率　…(bf)

したがって、1 時間中で被局のサイドローブと与局のメインローブが重なる時間は、

1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間[sec]
= (bf)与局_1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間
− (be)1 時間中のメイン-メイン時間　…(bg)

④ サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率

被局のサイドローブと与局のメインローブが重なる時間率「サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率」が得られる。

サイドローブ（被局）-メインローブ（与局）時間率
= (bg)1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間 / 3,600[sec]　…(bh)

2.2.2.3 メインローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間率（「メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」）の計算手順は以下の通り。

① 被局のアンテナ回転周期

与局のアンテナ向きを考慮しない（あらゆる方向にビームを放射していると考える）とき、被局が与局に正対する周期は、被局のアンテナ回転周期そのものとなる。

被局_アンテナ回転周期①[sec] = 60[sec] / (ka)被局_アンテナ回転数① …(ca)

② 1 時間中で被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間

与局が被局に正対する時間のうち、被局_メイン（被局が与局方向にメインローブを放射する）となる時間は、(af)被局_水平ビーム時間 である。

被局_水平ビーム時間[sec] = (af)被局_水平ビーム時間 …(cb)

以上から与局のアンテナ向きを考慮しないとき、被局のメインローブが与局に正対する時間率は次式となる。

被局_正対メイン時間率 = (cb)被局_メイン時間 / (ca)被局_アンテナ回転周期 …(cc)

これに干渉パルス幅を加味すると次式となる。

被局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率
= (cc)被局_正対メイン時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty …(cd)

ただし上記時間にはメインローブとメインローブが正対する時間を含むため、これを除外する。

(cd)にもとづき、与局のアンテナ向きを考慮しないときの「1 時間中の、送信パルス幅 duty を加味した正対メイン時間」は、は次式となる。

被局_1 時間中の送信パルス duty を加味した正対メイン時間[sec]
= 3,600[sec] × (cd)被局_干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率 …(ce)

これより、1 時間中で被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間は次式となる。

1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間[sec]
= (ce)被局_1 時間中の送信パルス duty を加味した正対メイン時間
− (be)1 時間中のメイン-メイン時間 …(cf)

③ メインローブ（（被局）-サイドローブ（与局）時間率

被局のメインローブと与局のサイドローブが重なる時間率「メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」が得られる。

メインローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率
= (cf)1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間 / 3,600[sec] …(cg)

2.2.2.4 サイドローブ（被干渉局）とサイドローブ（与干渉局）が重なる時間率

被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間率（「サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」）の計算手順は以下の通り。

① 被局が与局に正対しない時間

被局が与局に正対しない（被局が与局方向にはメインビームを放射していない）時間は、(ca)被局_アンテナ回転周期（与局のアンテナ向きを考慮しないとき、被局が与局に正対する周期）のうち、被局_メインビーム（被局が与局方向にメインローブを放射している状況）以外の時間となる。ここで与局に正対する時間は、(cb)被局_メイン時間 である。

被局_メインビーム以外の時間[sec]
= (ca)被局_アンテナ回転周期① － (cb)被局_メイン時間 …(da)

② 1 時間中で被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間

被局が与局に正対しない時間率は以下の通り。

被局_メインビーム以外の時間率
= (da)被局_メインビーム以外の時間 / (ca)被局_アンテナ回転周期① …(db)

これに干渉パルス幅 duty を加味すると次式となる。

干渉パルス幅 duty を加味した被局_メインビーム以外の時間率
= (db)被局_メインビーム以外の時間率 × (ak)干渉パルス幅 duty …(dc)

ただし上記時間には被局のサイドローブと与局のメインローブが正対する時間を含むため、これを除外する。

(dc)にもとづき、「1 時間中の、干渉パルス duty を加味したメインビーム以外が会合する時間」は次式となる。

被局_1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間[sec]
= 3600[sec] × (dc)被局_干渉パルス幅 duty を加味したメインビーム以外の時間 …(dd)

したがって、1 時間中で被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間は、

1 時間中のサイド-サイド時間[sec]
= (dd)被局_1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間
－(bg)1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間 …(de)

③ サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率

被局のサイドローブと与局のサイドローブが重なる時間率「サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率」が得られる。

サイドローブ（被局）-サイドローブ（与局）時間率
= (de)1 時間中のサイド-サイド時間 / 3,600[sec] …(df)

2.3　与干渉局：9,740MHz／被干渉局：9,720MHz_気象レーダー

「前提」

- ✓　気象レーダーは、固定局とする。
- ✓　気象レーダーは、垂直方向の走査はなく、垂直方向は常時与干渉局に正対しているものとする。
- ✓　計算方法は、「2.2.1　CW 方向走査における計算手順」に従う。
- ✓　被干渉局は Q0N 波を使用し、パルス圧縮方式を採用しているものとする。

2.3.1 計算用諸元

計算に用いる諸元は下表の通り。

与被局	レーダー	諸元：干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用	0.5	22	18.3	1,280
被干渉局	気象用	2	3.5	32	—[2]

2.3.2 計算内容

干渉時間率の計算過程を以下に表形式で示す。略語を以下の様に定義する。

- ➢　被局：気象レーダー（固定局）
- ➢　与局：沿岸監視用レーダー
- ➢　ビーム幅：30dB ビーム幅と定義する（3dB ビーム幅の 2.44 倍）

ID	項目		内容	値	単位
(pa)	被局	受信処理する電波型式。 Q0N ではパルス圧縮を前提とする。	外部パラメータ pa = 0 , then P0N pa = 1 , then Q0N	1	―
(pb)	被局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	2	[°]
(pc)	被局	アンテナ回転数	外部パラメータ	3.5	[rpm]
(pd)	被局	送信パルス幅	外部パラメータ	3.20E-05	[sec]
(pe)	与局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	0.5	[°]
(pf)	与局	アンテナ回転数	外部パラメータ	22	[rpm]
(pg)	与局	送信パルス幅	外部パラメータ	1.83E-05	[sec]
(ph)	与局	送信繰り返し周波数	外部パラメータ	1280	[Hz]
(aa)	―	水平方向会合アンテナ回転数	aa = GCD{ROUND(pc * 10, 0), ROUND(pf * 10, 0)} / 10	0.5	[rpm]
(ab)	―	水平方向会合周期	ab = 60sec / aa	120	[sec]

[2] 干渉時間率の計算上、使用しない。

ID	項目		内容	値	単位
(ac)	―	会合周期	ac = ab	120	[sec]
(ad)	被局	3dB 水平ビーム時間	ad = pb * (60sec / pc / 360°)	9.524E-02	[sec]
(ae)	与局	3dB 水平ビーム時間	ae = pe * (60sec / pf / 360°)	3.788E-03	[sec]
(af)	被局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	af = ad * 2.44	2.324E-01	[sec]
(ag)	与局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	ag = ae * 2.44	9.242E-03	[sec]
(ah)	―	会合時間	ah = af , then af <= ag ah = ag , then af > ag	9.242E-03	[sec]
(ai)	―	会合時間率	ai = ah / ac	7.702E-05	―
(aj)	―	干渉パルス幅	aj = pg , then pa = 0 aj = pd + pg , then pa = 1	5.030E-05	[sec]
(ak)	―	干渉パルス幅 duty	ak = aj * ph	6.438E-02	―
(al)	―	メイン（被局）-メイン（与局）時間率	al = ai * ak	4.959E-06	―
(ba)	与局	アンテナ回転周期	ba = 60sec / pf	2.7272727	[sec]
(bb)	与局	メイン時間	bb = ag	9.242E-03	[sec]
(bc)	与局	正対メイン時間率	bc = bb / ba	3.389E-03	―
(bd)	与局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bd = bc * ak	2.182E-04	―
(be)	―	1 時間中のメイン-メイン時間	be = 3600sec * al	1.785E-02	[sec]
(bf)	与局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bf = 3600sec * bd	7.855E-01	―
(bg)	―	1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間	bg = bf - be	7.676E-01	[sec]
(bh)	―	サイド（被局）-メイン（与局）時間率	bh = bg / 3600sec	2.132E-04	―
(ca)	被局	アンテナ回転周期	ca = 60 / pc	1.714E+01	[sec]
(cb)	被局	メイン時間	cb = af	2.324E-01	[sec]
(cc)	被局	正対メイン時間率	cc = cb / ca	1.356E-02	―
(cd)	被局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	cd = cc * ak	8.728E-04	―
(ce)	被局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	ce = 3600sec * cd	3.142E+00	[sec]
(cf)	―	1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間	cf = ce - be	3.124E+00	[sec]
(cg)	―	メイン（被局）-サイド（与局）時間率	cg = cf / 3600sec	8.678E-04	―

ID	項目		内容	値	単位
(da)	被局	メインビーム以外の時間	da = ca - cb	1.691E+01	[sec]
(db)	被局	メインビーム以外の時間率	db = da / ca	9.864E-01	―
(dc)	被局	干渉パルス幅 duty を加味したメインビーム以外の時間率	dc = db * ak	6.351E-02	―
(dd)	被局	1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間	dd = 3600sec * dc	2.286E+02	[sec]
(de)	―	1 時間中のサイド-サイド時間	de = dd - bg	2.279E+02	[sec]
(df)	―	サイド（被局）-サイド（与局）時間率	df = de / 3600sec	6.330E-02	―

2.4　与干渉局：9,850MHz／被干渉局：9,795MHz_気象レーダー

「前提」

- ✓　気象レーダーは、固定局とする。
- ✓　気象レーダーは、垂直方向の走査はなく、垂直方向は常時与干渉局に正対しているものとする。
- ✓　計算方法は、「2.2.1　CW 方向走査における計算手順」に従う。
- ✓　被干渉局は Q0N 波を使用し、パルス圧縮方式を採用しているものとする。

2.4.1 計算用諸元

計算に用いる諸元は下表の通り。

与被局	レーダー	諸元：干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用	0.5	22	30.0	3,000
被干渉局	気象用	2	3.5	32	—[3]

2.4.2 計算内容

干渉時間率の計算過程を以下に表形式で示す。略語を以下の様に定義する。

- ➢　被局：気象レーダー（固定局）
- ➢　与局：沿岸監視用レーダー
- ➢　ビーム幅：30dB ビーム幅と定義する（3dB ビーム幅の 2.44 倍）

ID	項目		内容	値	単位
(pa)	被局	受信処理する電波型式。 Q0N ではパルス圧縮を前提とする。	外部パラメータ pa = 0 , then P0N pa = 1 , then Q0N	1	―
(pb)	被局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	2	[°]
(pc)	被局	アンテナ回転数	外部パラメータ	3.5	[rpm]
(pd)	被局	送信パルス幅	外部パラメータ	3.20E-05	[sec]
(pe)	与局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	0.5	[°]
(pf)	与局	アンテナ回転数	外部パラメータ	22	[rpm]
(pg)	与局	送信パルス幅	外部パラメータ	3.00E-05	[sec]
(ph)	与局	送信繰り返し周波数	外部パラメータ	3000	[Hz]
(aa)	―	水平方向会合アンテナ回転数	aa = GCD{ROUND(pc * 10, 0), ROUND(pf * 10, 0)} / 10	0.5	[rpm]
(ab)	―	水平方向会合周期	ab = 60sec / aa	120	[sec]

[3] 干渉時間率の計算上、使用しない。

ID	項目		内容	値	単位
(ac)	―	会合周期	ac = ab	120	[sec]
(ad)	被局	3dB 水平ビーム時間	ad = pb * (60sec / pc / 360°)	9.524E-02	[sec]
(ae)	与局	3dB 水平ビーム時間	ae = pe * (60sec / pf / 360°)	3.788E-03	[sec]
(af)	被局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	af = ad * 2.44	2.324E-01	[sec]
(ag)	与局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	ag = ae * 2.44	9.242E-03	[sec]
(ah)	―	会合時間	ah = af , then af <= ag ah = ag , then af > ag	9.242E-03	[sec]
(ai)	―	会合時間率	ai = ah / ac	7.702E-05	―
(aj)	―	干渉パルス幅	aj = pg , then pa = 0 aj = pd + pg , then pa = 1	6.200E-05	[sec]
(ak)	―	干渉パルス幅 duty	ak = aj * ph	1.860E-01	―
(al)	―	メイン（被局）-メイン（与局）時間率	al = ai * ak	1.433E-05	―
(ba)	与局	アンテナ回転周期	ba = 60sec / pf	2.7272727	[sec]
(bb)	与局	メイン時間	bb = ag	9.242E-03	[sec]
(bc)	与局	正対メイン時間率	bc = bb / ba	3.389E-03	―
(bd)	与局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bd = bc * ak	6.303E-04	―
(be)	―	1 時間中のメイン-メイン時間	be = 3600sec * al	5.157E-02	[sec]
(bf)	与局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bf = 3600sec * bd	2.269E+00	―
(bg)	―	1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間	bg = bf - be	2.218E+00	[sec]
(bh)	―	サイド（被局）-メイン（与局）時間率	bh = bg / 3600sec	6.160E-04	―
(ca)	被局	アンテナ回転周期	ca = 60 / pc	1.714E+01	[sec]
(cb)	被局	メイン時間	cb = af	2.324E-01	[sec]
(cc)	被局	正対メイン時間率	cc = cb / ca	1.356E-02	―
(cd)	被局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	cd = cc * ak	2.521E-03	―
(ce)	被局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	ce = 3600sec * cd	9.077E+00	[sec]
(cf)	―	1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間	cf = ce - be	9.025E+00	[sec]
(cg)	―	メイン（被局）-サイド（与局）時間率	cg = cf / 3600sec	2.507E-03	―

ID	項目		内容	値	単位
(da)	被局	メインビーム以外の時間	da = ca - cb	1.691E+01	[sec]
(db)	被局	メインビーム以外の時間率	db = da / ca	9.864E-01	―
(dc)	被局	干渉パルス幅 duty を加味したメインビーム以外の時間率	dc = db * ak	1.835E-01	―
(dd)	被局	1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間	dd = 3600sec * dc	6.605E+02	[sec]
(de)	―	1 時間中のサイド-サイド時間	de = dd - bg	6.583E+02	[sec]
(df)	―	サイド（被局）-サイド（与局）時間率	df = de / 3600sec	1.829E-01	―

2.5　与干渉局：9,410MHz／被干渉局：9,410MHz_船舶用レーダー

「前提」

- ✓ 船舶用レーダーは、回頭しておらず、停泊もしくは与干渉局に対して鉛直方向にのみ移動しているものとする。
- ✓ 9,400MHz 帯では、無線設備規則第 48 条に適合するレーダー同士の干渉時間率を計算するものとする。なお、アンテナは 9ft でなく、よりビーム幅が広く時間率的に不利な 6ft とする。
- ✓ パルス幅に関しては、必要な最小離隔距離の計算において無線設備規則第 48 条の制約条件による諸元を設けているため、干渉時間率の計算においてもこの諸元を適用する。※諸元を変えた場合、必要な最小離隔距離と干渉時間率を合わせて考えることができなくなるため。
- ✓ 計算方法は、「2.2.1　CW 方向走査における計算手順」に従う。
- ✓ 被干渉局は Q0N 波を使用し、パルス圧縮方式を採用しているものとする。

2.5.1 計算用諸元

計算に用いる諸元は下表の通り。

与被局	レーダー	諸元：干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用（固体化）	1.2（6ft 相当）	24	7.85	1,045
被干渉局	船舶用（固体化）	同上	同上	同上	—[4]

2.5.2 計算内容

干渉時間率の計算過程を以下に表形式で示す。略語を以下の様に定義する。

- ➢ 被局：船舶用レーダー
- ➢ 与局：沿岸監視用レーダー
- ➢ ビーム幅：30dB ビーム幅と定義する（3dB ビーム幅の 2.44 倍）

ID	項目		内容	値	単位
(pa)	被局	受信処理する電波型式。Q0N ではパルス圧縮を前提とする。	外部パラメータ pa = 0 , then P0N pa = 1 , then Q0N	1	―
(pb)	被局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	1.2	[°]
(pc)	被局	アンテナ回転数	外部パラメータ	24	[rpm]
(pd)	被局	送信パルス幅	外部パラメータ	7.85E-06	[sec]

[4] 干渉時間率の計算上、使用しない。

ID	項目		内容	値	単位
(pe)	与局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	1.2	[°]
(pf)	与局	アンテナ回転数	外部パラメータ	24	[rpm]
(pg)	与局	送信パルス幅	外部パラメータ	7.85E-06	[sec]
(ph)	与局	送信繰り返し周波数	外部パラメータ	1045	[Hz]
(aa)	―	水平方向会合アンテナ回転数	aa = GCD{ROUND(pc * 10, 0), ROUND(pf * 10, 0)} / 10	24	[rpm]
(ab)	―	水平方向会合周期	ab = 60sec / aa	2.5	[sec]
(ac)	―	会合周期	ac = ab	2.5	[sec]
(ad)	被局	3dB 水平ビーム時間	ad = pb * (60sec / pc / 360°)	8.333E-03	[sec]
(ae)	与局	3dB 水平ビーム時間	ae = pe * (60sec / pf / 360°)	8.333E-03	[sec]
(af)	被局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	af = ad * 2.44	2.033E-02	[sec]
(ag)	与局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	ag = ae * 2.44	2.033E-02	[sec]
(ah)	―	会合時間	ah = af , then af <= ag ah = ag , then af > ag	2.033E-02	[sec]
(ai)	―	会合時間率	ai = ah / ac	8.133E-03	―
(aj)	―	干渉パルス幅	aj = pg , then pa = 0 aj = pd + pg , then pa = 1	1.570E-05	[sec]
(ak)	―	干渉パルス幅 duty	ak = aj * ph	1.641E-02	―
(al)	―	メイン（被局）-メイン（与局）時間率	al = ai * ak	1.334E-04	―
(ba)	与局	アンテナ回転周期	ba = 60sec / pf	2.5	[sec]
(bb)	与局	メイン時間	bb = ag	2.033E-02	[sec]
(bc)	与局	正対メイン時間率	bc = bb / ba	8.133E-03	―
(bd)	与局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bd = bc * ak	1.334E-04	―
(be)	―	1 時間中のメイン-メイン時間	be = 3600sec * al	4.804E-01	[sec]
(bf)	与局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bf = 3600sec * bd	4.804E-01	―
(bg)	―	1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間	bg = bf - be	0.000E+00	[sec]
(bh)	―	サイド（被局）-メイン（与局）時間率	bh = bg / 3600sec	0.000E+00	―
(ca)	被局	アンテナ回転周期	ca = 60 / pc	2.500E+00	[sec]
(cb)	被局	メイン時間	cb = af	2.033E-02	[sec]
(cc)	被局	正対メイン時間率	cc = cb / ca	8.133E-03	―

ID	項目		内容	値	単位
(cd)	被局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	cd = cc * ak	1.334E-04	―
(ce)	被局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	ce = 3600sec * cd	4.804E-01	[sec]
(cf)	―	1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間	cf = ce - be	0.000E+00	[sec]
(cg)	―	メイン（被局）-サイド（与局）時間率	cg = cf / 3600sec	0.000E+00	―
(da)	被局	メインビーム以外の時間	da = ca - cb	2.480E+00	[sec]
(db)	被局	メインビーム以外の時間率	db = da / ca	9.919E-01	―
(dc)	被局	干渉パルス幅 duty を加味したメインビーム以外の時間率	dc = db * ak	1.627E-02	―
(dd)	被局	1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間	dd = 3600sec * dc	5.858E+01	[sec]
(de)	―	1 時間中のサイド-サイド時間	de = dd - bg	5.858E+01	[sec]
(df)	―	サイド（被局）-サイド（与局）時間率	df = de / 3600sec	1.627E-02	―

2.6　与干渉局：9,410MHz／被干渉局：9,400MHz_航空機搭載用気象レーダー

「前提」

- ✓ 航空機搭載用気象レーダーは、与干渉局に対して鉛直方向にのみ移動しているものとする。
- ✓ 9,400MHz 帯では、与干渉局は無線設備規則第 48 条に適合するレーダーによる干渉時間率を計算するものとする。なお、アンテナは 9ft でなく、よりビーム幅が広く時間率的に不利な 6ft とする。
- ✓ ここでは実際の高度差を無視し、常時、与被干渉局の垂直ビームが正対する高度関係にあると仮定する。
- ✓ パルス幅に関しては、必要な最小離隔距離の計算において無線設備規則第 48 条の制約条件による諸元を設けているため、干渉時間率の計算においてもこの諸元を適用する。※諸元を変えた場合、必要な最小離隔距離と干渉時間率を合わせて考えることができなくなるため。
- ✓ 計算方法は、「2.2.2 CW／CCW 往復操作における計算手順」に従う。
- ✓ 被干渉局は Q0N 波を使用し、パルス圧縮方式を採用しているものとする。
- ✓ 与干渉局と被干渉局が 1 局ずつの前提での計算過程を以下に示す。与干渉局が 4 局のケースは、与干渉局 1 局の設定で得られた干渉時間・干渉時間率を 4 倍することで結果を得る（本節には計算手順を示さない）。

2.6.1 計算用諸元

計算に用いる諸元は下表の通り。

与被局	レーダー	諸元：干渉時間率計算用			
		3dB 水平ビーム幅[°]	アンテナ回転数[rpm]	パルス幅[μsec]	送信繰り返し周波数[Hz]
与干渉局	沿岸監視用	1.2（6ft 相当）	24	7.85	1,045
被干渉局	航空機搭載気象用	10°	±60°/4.9 秒（往復）	28.8[5]	－[6]

2.6.2 計算内容

干渉時間率の計算過程を以下に表形式で示す。略語を以下の様に定義する。

- ➢ 航気象レ：航空機搭載用気象レーダー／沿岸レ：沿岸監視用レーダー
- ➢ ビーム幅：30dB ビーム幅と定義する（3dB ビーム幅の 2.44 倍）

[5] 「気レ X6-6」では P0N 28.8μs との記載があるが、今後の最悪条件を算出するため Q0N として取り扱う。事実電波型式 Q7N が 1 局だけ存在する。

[6] 干渉時間率の計算上、使用しない。

ID	項目		内容	値	単位
(pa)	被局	受信処理する電波型式。 Q0N ではパルス圧縮を前提とする。	外部パラメータ pa = 0 , then P0N pa = 1 , then Q0N	1	―
(pb)	被局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	10	[°]
―	―	―	―	―	―
(pd)	被局	送信パルス幅	外部パラメータ	2.88E-05	[sec]
(pe)	与局	3dB 水平ビーム幅	外部パラメータ	1.2	[°]
(pf)	与局	アンテナ回転数	外部パラメータ	24	[rpm]
(pg)	与局	送信パルス幅	外部パラメータ	7.85E-06	[sec]
(ph)	与局	送信繰り返し周波数	外部パラメータ	1045	[Hz]
(pi)	被局	走査角度幅	外部パラメータ	120	[°]
(pl)	被局	往復走査時間	外部パラメータ	4.9	[sec]
(ka)	被局	アンテナ回転数①　※会合周期計算用	ka = 60sec / (pl / 2)	24.49	[rpm]
(kb)	被局	アンテナ 1 回転相当時間　※ビーム幅時間計算用	kb = (pl / 2) * (360 / pi)	7.35	[sec]
(kc)	被局	アンテナ回転数②　※ビーム幅時間計算用	kc = 60sec / kb	8.163	[rpm]
(aa)	―	水平方向会合アンテナ回転数	aa = GCD{ROUND(ka * 10, 0), ROUND (pf * 10, 0)} / 10	0.5	[rpm]
(ab)	―	水平方向会合周期	ab = 60sec / aa	120	[sec]
(ac)	―	会合周期	ac = ab	120	[sec]
(ad)	被局	3dB 水平ビーム時間	ad = pb * (60 / kc / 360°)	2.042E-01	[sec]
(ae)	与局	3dB 水平ビーム時間	ae = pe * (60sec / pf / 360°)	8.333E-03	[sec]
(af)	被局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	af = ad * 2.44	4.982E-01	[sec]
(ag)	与局	水平ビーム時間 ※サイドローブ相当	ag = ae * 2.44	2.033E-02	[sec]
(ah)	―	会合時間	ah = af , then af <= ag ah = ag , then af > ag	2.033E-02	[sec]
(ai)	―	会合時間率	ai = ah / ac	1.694E-04	―
(aj)	―	干渉パルス幅	aj = pg , then pa = 0 aj = pd + pg , then pa = 1	3.665E-05	[sec]
(ak)	―	干渉パルス幅 duty	ak = aj * ph	3.830E-02	―
(al)	―	メイン（被局）-メイン（与局）時間率	al = ai * ak	6.490E-06	―
(ba)	与局	アンテナ回転周期	ba = 60sec / pf	2.5	[sec]
(bb)	与局	メイン時間	bb = ag	2.033E-02	[sec]

ID	項目		内容	値	単位
(bc)	与局	正対メイン時間率	bc = bb / ba	8.133E-03	―
(bd)	与局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bd = bc * ak	3.115E-04	―
(be)	―	1 時間中のメイン-メイン時間	be = 3600sec * al	2.336E-02	[sec]
(bf)	与局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	bf = 3600sec * bd	1.121E+00	―
(bg)	―	1 時間中のサイド（被局）-メイン（与局）時間	bg = bf - be	1.098E+00	[sec]
(bh)	―	サイド（被局）-メイン（与局）時間率	bh = bg / 3600sec	3.050E-04	―
(ca)	被局	アンテナ回転周期①	ca = 60 / ka	2.45	[sec]
(cb)	被局	メイン時間	cb = af	4.982E-01	[sec]
(cc)	被局	正対メイン時間率	cc = cb / ca	2.033E-01	―
(cd)	被局	干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	cd = cc * ak	7.788E-03	―
(ce)	被局	1 時間中の干渉パルス幅 duty を加味した正対メイン時間率	ce = 3600sec * cd	2.804E+01	[sec]
(cf)	―	1 時間中のメイン（被局）-サイド（与局）時間	cf = ce - be	2.801E+01	[sec]
(cg)	―	メイン（被局）-サイド（与局）時間率	cg = cf / 3600sec	7.781E-03	―
(da)	被局	メインビーム以外の時間	da = ca - cb	1.952E+00	[sec]
(db)	被局	メインビーム以外の時間率	db = da / ca	7.967E-01	―
(dc)	被局	干渉パルス幅 duty を加味したメインビーム以外の時間率	dc = db * ak	3.051E-02	―
(dd)	被局	1 時間中のパルス duty のメインビーム以外の時間	dd = 3600sec * dc	1.098E+02	[sec]
(de)	―	1 時間中のサイド-サイド時間	de = dd - bg	1.087E+02	[sec]
(df)	―	サイド（被局）-サイド（与局）時間率	df = de / 3600sec	3.021E-02	―

以上