

# 東京湾における海洋短波レーダの実運用に向けた技術検討

川崎栄久\*・公平和裕\*\*・福原哲夫\*\*\*・藤澤孝夫\*\*\*\*

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

\*\* 前 国土交通省関東地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課 施工技術係長

\*\*\* 国土交通省関東地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課 課長補佐

\*\*\*\* 国土交通省関東地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課 課長

日本沿岸域に設置されている海洋短波レーダは2010年現在、実験局として運用されている。今後、実用局の免許を取得するためには、海洋短波レーダが他の電波利用サービスに対して電波干渉を与えないことが前提となるため、実用局の免許取得に向けて国土交通省関東地方整備局港湾空港部では、東京湾を対象に海洋短波レーダの電波干渉に関する技術検討を行っている。本検討では、東京湾の海洋短波レーダが他の電波利用サービスに対して電波干渉を引き起こさない最小離隔距離を算出し、電波干渉対策を検討した<sup>1)</sup>。

キーワード：東京湾の海洋短波レーダ，地上波伝搬，電波干渉対策

## 1. はじめに

国土交通省関東地方整備局は東京湾沿岸に海洋短波レーダを3基設置し、海上を浮遊するゴミの回収効率化に役立っている。海洋短波レーダは無線局の免許上、実験局として運用されているが（日本国内の海洋短波レーダと他の電波利用サービスが試用している周波数を表-1に示す）、現在、海洋短波レーダの実用局に向けて技術的検討が進められている。

今後、実用局に向けて電波の周波数帯の取得や海洋短波レーダを増設する場合には、他の電波利用サービスとの電波干渉対策や、干渉回避のための運用方策の検討が必要となる。

東京湾に設置されている海洋短波レーダの使用周波数は、24.515MHz±50kHzである（表-1参照）。電波は周波数帯により伝搬特性が異なるので電波干渉に関する検討に当たっては東京湾に設置されている短波帯の海洋レーダを対象にその特徴を掴んでおくことが重要である。以下にその特長を述べる。

- 短波は周波数 3MHz～30MHz、波長が 10m～100m の電波である。
- 東京湾に設置されている海洋短波レーダの電波周波数は 24.525MHz であり、その電波波長 (λ) は約 12m である。
- 短波の伝搬モードは大きくわけて地上波 (Ground Wave) と上空波 (Sky Wave) がある。
- 地上波は、いろいろな形で地上を伝わるもので、直接波と大地反射波及び地表波の成分に分類される。
- 上空波は、電離層反射波とも呼ばれ、約 200～400km

の高度に形成される電離層の F 層に反射して、地表との反射を繰り返しながら 1000km 以上先まで伝搬する (図-1 参照)。

表-1 周波数分配表

国内分配 (kHz)	第1地域 <sup>1)</sup>	第2地域 <sup>2)</sup>	第3地域 <sup>3)</sup>	国内運用	日本国内での海洋短波レーダ使用周波数
5005-5060	固定 放送			固定	海保 CODAR (5032-5047.5)
5060-5450	固定 移動 (航空移動を除く)			固定 移動 (航空移動を除く)	-
6765-7000	固定 移動 (航空移動 (R) を除く)			固定 移動 (航空移動 (R) を除く)	-
9040-9400	固定			固定	情通研_三菱レーダー (9214-9223, 9227-9243, 9247-9272)
9900-9995	固定			固定	-
11400-11600	固定			固定	-
12100-12230	固定			固定	-
13870-14000	固定 移動 (航空移動 (R) を除く)			固定 移動 (航空移動を除く) 航空移動 (O R)	九大・北大 CODAR (13921-13971)
17410-17480	固定			固定	-
18030-18052	固定			固定	-
18168-18780	固定 移動 (航空移動を除く)			固定	-
19020-19680	固定			固定	-
19800-19990	固定			固定	-
24000-24890	固定 陸上移動			固定 陸上移動	港湾局_NJRC レーダー <sup>4)</sup> 、 港湾局_CODAR、 海保_三菱レーダー (24465-24565)
25010-25070	固定 移動 (航空移動を除く)			固定 移動 (航空移動を除く)	-
25210-25550	固定 移動 (航空移動を除く)			固定 移動 (航空移動を除く)	-
26175-27500	固定 移動 (航空移動を除く)			固定 移動 (航空移動を除く)	-
27.5-28	気象援助 固定 移動			移動	-
38.25- 40.6MHz	固定 移動			移動	-
40.6- 40.86MHz	固定 移動			移動	-
40.86-41MHz	固定 宇宙研究 (40.98-41.015)			移動	-
41-43.436MHz	固定 移動			移動 無線標定	港湾局_NJRC、 港湾局_CODAR レーダー (41750-42050)
43.436-43.544	固定 移動			無線標定	-
43.544-44	固定 移動			移動 無線標定	-
44-50	固定 (44-47) 移動 (44-47) 放送 (47-68)	固定 移動	固定 放送 移動	移動 無線標定	-

<sup>1)</sup> 第一地域はロシアを含むヨーロッパ、アフリカ、第二地域は南北アメリカ、第三地域はアジア・オセアニアを示す。  
<sup>2)</sup> 赤枠は東京湾の海洋短波レーダが使用している周波数帯域を示す。

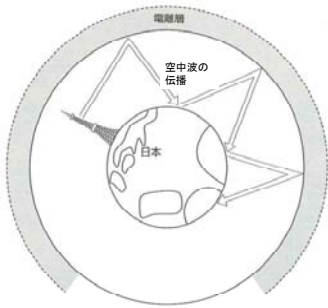


図-1 上空波の電離層伝搬の概念図<sup>2)</sup>

上空波は数 1,000km 先まで到達するが、地上波は数 10km～数 100km である。本報では、特に電波干渉の影響が想定される東京湾の海洋短波レーダについて、地上波のみに着目した電波干渉検討を行った。

## 2. 東京湾の海洋短波レーダと他の電波利用サービス（アマチュア無線等）との干渉検討

現在、東京湾には海洋短波レーダが横浜市大黒埠頭地区、千葉市中央地区、千葉市船橋地区の3箇所に設置されている（以降、これらを「東京湾の海洋短波レーダ」と呼ぶ）。現在、東京湾の海洋短波レーダが使用している周波数帯では、他の電波利用サービスは運用されていない（表-1 参照）。しかし今後、実用局化にともなって、他の電波利用サービスと同じ周波数帯を利用することも想定される。そこで他の電波利用サービスとしてアマチュア無線を想定し、電波干渉の検討を以下のフローにしたがい行った。

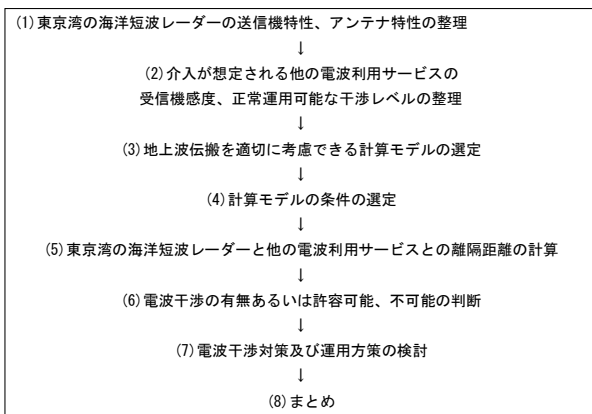


図-2 電波干渉検討のフロー図

東京湾の海洋短波レーダは、電波を海面に送信して、送信された電波が海洋波浪からブラッグ散乱共鳴を受けて後方に散乱されたものを受信し、得られた受信信号を信号解析してドップラースペクトルを得る。ドップラースペクトルの一次散乱エネルギーの解析からは表層流の流速と流向を、二次散乱エネルギーの解析からは海洋波

浪の波高、周期を推定することができる（図-3 参照）。

東京湾の海洋短波レーダが他の電波利用サービスに干渉を与える場合、レーダの送信波が他のサービス（例えばアマチュア無線）の受信機で受信されることにより、本来必要とされる信号が復調できない障害が発生する。これを防止するためには東京湾の海洋短波レーダが送信した電力が、他の電波利用サービスの復調を妨害しないことが前提となる。これを確認するために東京湾の海洋短波レーダの送信機の特性と他のサービスの受信機の特性を整理して、レーダ局と他の電波利用サービスとの必要な離隔距離を計算することにした。

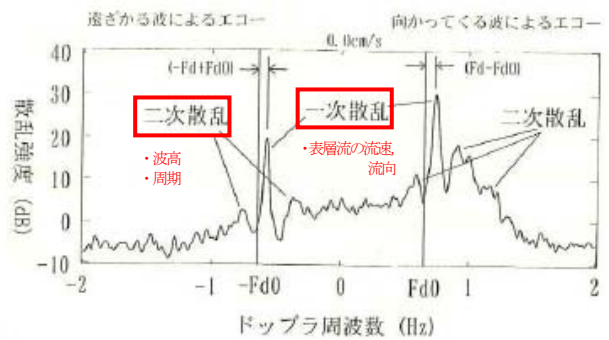


図-3 ドップラースペクトルの例<sup>3)</sup>

### 2.1 東京湾の海洋短波レーダの特性

東京湾の海洋短波レーダの送信機特性を表-2 に記す。

表-2 東京湾の海洋短波レーダの送信機特性

項目	単位	値
レーダ方式	—	FMICW
周波数	MHz	24.515
掃引幅	kHz	100(中心周波数±50)
送信アンテナ	—	3素子八木アンテナ
利得(前面-海上)	dBi	6.3
利得(背面-陸上)	dBi	-11.2
指向性パターン	—	
送信出力(アンテナ入力)	Wpk	200
デューティ比	—	0.5

東京湾の海洋短波レーダは、小さい出力で距離の検出を行うために周波数変調させながら電波（搬送波）を送信している。これを FMICW (Frequency Modulated Interrupted Continuous Wave) 方式と呼ぶ。また送信アンテナは八木アンテナで指向性（アンテナ前面の放射電力が大きい）を持つため、図-4, 5 に示すように海上の利得（放射する電力）が陸上と比べて大きい。

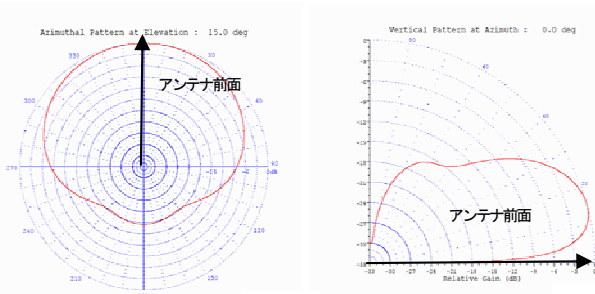


図-4 海洋短波レーダのアンテナパターン



図-5 東京湾の海洋短波レーダの設置状況

## 2.2 他の電波利用サービスの特性と干渉閾値の整理

本検討では、東京湾の海洋短波レーダから電波干渉を受ける他の電波利用サービスが、東京湾の海洋短波レーダ送信機の背面つまり陸上側に存在するものと仮定した。ITU-R WP5B (国際電気通信連合-無線部門 海上移動・航空移動・無線測位業務作業部会) での検討に従い、固定および陸上移動サービス (短波帯の業務無線やアマチュア無線) を想定した。他の電波利用サービスの受信機特性を表-3 に示す。

表-3 他の電波利用サービスの受信機特性

項目	単位	値
被干渉サービス	—	固定および陸上移動
変調方式	—	SSB(phone)
アンテナ利得	dBi	0
受信帯域幅	kHz	3
外部雑音	—	ITU-R P.372-9, Quiet rural
I/N 閾値	dB	-6

変調方式には SSB(phone) を想定した。これは振幅変調 AM (Amplitude Modulation) の一種で、通常の振幅変調方式と比べてエネルギー効率 (変調効率) が良く、通常の振幅変調と比べて低電力で遠方の通信が可能であることが特徴である。

表-3 中の外部雑音は復調を難しくする要因の一つであり、外部雑音には人工雑音、自然雑音 (大気雑音、宇宙

雑音等) がある。ここでは ITU-R P.372-9<sup>9)</sup> に従い、外部雑音環境として静かな田園 (quiet rural) を想定した。また I/N (Interference - to - Noise Ratio) は、他の電波利用サービスの保護の検討に必要な干渉対雑音比であるが、干渉を避けるためにはこの閾値を下回る必要がある。

## 2.3 地上波伝搬モデル計算の計算条件

地上波の伝搬計算には GRWAVE を用いた。これは地上波伝搬を計算するために ITU-R で推奨するプログラムである<sup>4),5)</sup>。GRWAVE の計算条件を表-4 に示す。

表-4 GRWAVE 計算条件

項目	単位	値	備考
大気屈折指数(地表)	ANS	NU	315
大気スケールハイト	HSCALE	km	7.35
電波の偏波	IPOLRN	---	1
電波の周波数	FREQ	MHz	24.515
陸上 比誘電率	EPSILON	---	22
導電率	SIGMA	S/m	0.003
海上 比誘電率	EPSILON	---	70
導電率	SIGMA	S/m	5
最小距離	DMIN	km	1
最大距離	DMAX	km	50
距離間隔	DSTEP	km	1
距離間隔の計算方法	LOGLIN	---	0
電波伝搬の計算方法	IG	---	0
送受信アンテナの組合せ	JHT	---	1
陸上 受信アンテナ高	HRR	m	2.2
送信アンテナ高	HTT	m	4.0
海上 受信アンテナ高	HRR	m	3.7
送信アンテナ高	HTT	m	6.0

地上波の伝搬は大気や海上、地表の電気的特性の影響を受ける。この値は ITU-R 勧告文書で定められたものを用いている。

## 2.4 離隔距離の計算結果

GRWAVE による計算で得られた被干渉側 (他の電波利用サービス) の受信機における東京湾の海洋短波レーダ波の受信電力 ( $P_r$ ) と最大許容干渉電力 (約-130dBm) から最小離隔距離を求めた。

表-2、表-3、表-4 の陸上伝搬のパラメータを用い、東京湾の海洋短波レーダ局背面の地上波伝搬計算を行ったところ、図-6 の結果が得られた。この受信電力値と最大許容干渉レベルとが交差した点から、東京湾の海洋短波レーダと他の電波利用サービスの最小離隔距離を推定したところ、東京湾の海洋短波レーダの電力が 200W の場合、53km となった。

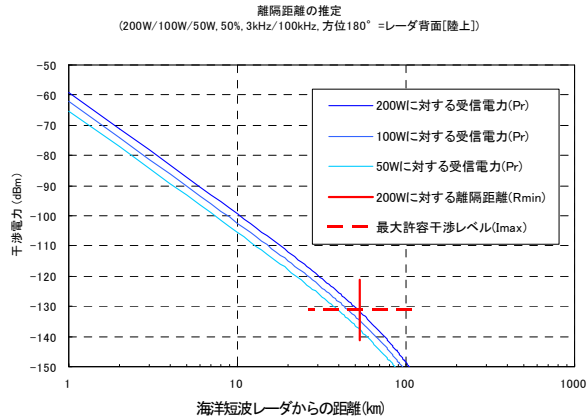


図-6 最小離隔距離の推定

### 3. 干渉対策及び運用方策の検討

#### 3.1 干渉対策

東京湾の海洋短波レーダを他の電波利用サービスとの最小離隔距離以内に設置する必要がある場合には、干渉対策が必要となる。

現在は八木アンテナの指向性により背面への放射を抑制しているが、さらにレーダの背後への地上波放射を抑えるようなアンテナ構造とすることで、背面方向の最小離隔距離をより短縮できる可能性がある。地上波放射を抑えるアンテナ構造としては、たとえば反射板による遮蔽等が考えられる (図-7 参照)。

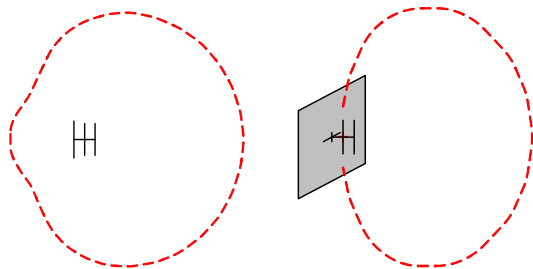


図-7 現在の八木アンテナ(左)と背面への電力放射抑制対策後の電力放射パターン(右)

東京湾の海洋短波レーダはその照射方法によって2つの方式がある。観測視野全体を同時にアンテナビームで照射するDBF (Digital Beam Forming) 方式と、特定の観測方向だけを狭いアンテナビームで照射することができるPA (Phased Array) 方式である (図-8 参照)。したがってPAレーダでは、被干渉システムの方に電波を照射しないことで、干渉を軽減することができる。但し、PAレーダで広い視野を観測するには、各方向の観測を個別に行う必要があるため、長い観測時間を必要とする欠点が生じる。

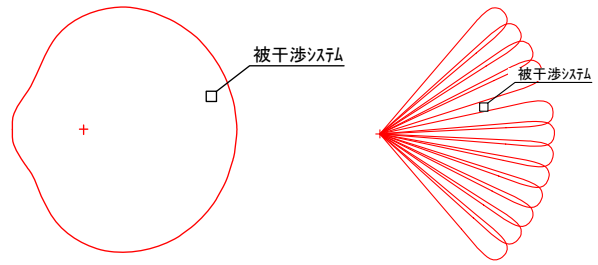


図-8 PAレーダによる被干渉システムの回避  
DBFレーダー(左)とPAレーダー(右)の電力放射パターン

### 4. まとめ

東京湾の海洋短波レーダと他の電波利用サービスについて電波干渉対策を検討した。成果を以下にまとめる。

- 1) 本検討の条件において、送信電力200Wのケースでは、他の電波利用サービスとの最小離隔距離は53kmとなった。
- 2) 東京湾の海洋短波レーダの送信電力を下げたことで、他の電波利用サービスとの離隔距離を短くすることができる。
- 3) GRWAVEで計算された最小離隔距離以内に海洋短波レーダを設置する必要に迫られた場合や他の電波利用サービスが新たに設置される場合は、送信アンテナの背面に反射板を設けることによって背面方向の最小離隔距離を短縮できる可能性がある。
- 4) 被干渉システムが固定されている場合、PA方式のビーム照射により、電波干渉を軽減できる可能性がある。ただしDBF方式と比べると観測時間が長くなる欠点がある。

### 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局港湾空港部・(財) 沿岸技術研究センター：平成21年度 東京湾における海洋短波レーダの実用局に向けた技術検討業務 報告書 2010
- 2) 竹田義行監修・インプレス R&D：インプレス標準教科書シリーズ 改訂版ワイヤレス・ブロードバンド時代の電波/周波数教科書, 2008
- 3) 土木学会海岸工学委員会研究現況プレビュー小委員会：陸上設置型レーダによる沿岸海洋観測, 2002
- 4) ITU-R:RECOMMENDATION ITU-R P. 368-9
- 5) ITU-R:RECOMMENDATION ITU-R P. 372-9