

第6章 実フィールドにおける試験

6.1 概要

(1) 目的と実施の流れ

実フィールドにおける試験の目的は、次の通りである。

- ・ 供試機の洋上における電波伝搬特性の把握
- ・ 他の無線通信業務へ与える影響の確認

実際の漁場や運用状態を再現した環境条件において、他の無線通信及び供試機の受信レベルを測定・評価し、得られた結果は周波数共用検討に活用する。

実フィールド試験の実施の流れを図 6-1 に示す。実際の運用状態を再現するため、漁船を使用して試験を実施する。

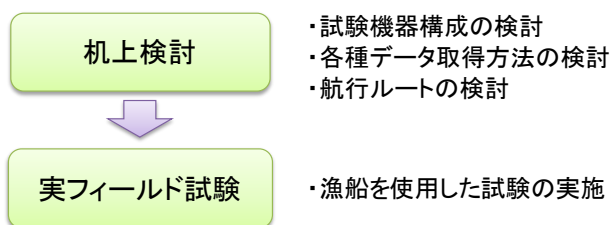


図 6-1 実フィールド試験の実施の流れ

(2) 試験実施期間と場所

実フィールド試験の実施期間と場所を表 6-1 に示す。実際のマグロはえ縄漁船を使用して試験を行うため、漁船の都合から実施期間は 8 月末とし、試験実施場所は気仙沼沖合とした。

表 6-1 実フィールド試験の実施期間と場所

項目	詳細
期間	2019年8月26日～28日
場所	気仙沼沖合東南方向 100km程度以内

(3) 試験項目と試験構成

試験項目とその内容を表 6-2 に示す。試験項目として、「試験 1」と「試験 2」の 2 項目を実施する。

表 6-2 試験項目と内容

試験	試験項目	内容
1	供試機の電波伝搬特性及び有効通達距離	沿岸(受信点)から供試機の距離を変化させ、受信レベルを測定し、位置情報が表示されることを確認
2	供試機及び海上移動業務通信相互間の電波による影響	実際の漁場を想定し、洋上において供試機を延縄に繋いでD/Uを測定

試験構成を図 6-2 に示す。「試験 1」では、供試機からの電波を測定系 1 と測定系 2 で受信し、スペクトラムアナライザによる電界強度測定とラジオ・ブイデータの受信状態確認を行う。「試験 2」では、既存無線局からの電波及び供試機のラジオ・ブイからの電波を測定系 1 で受信し、スペクトラムアナライザによる電界強度測定を行う。詳細な試験手順等については、6.2 以下で述べる。

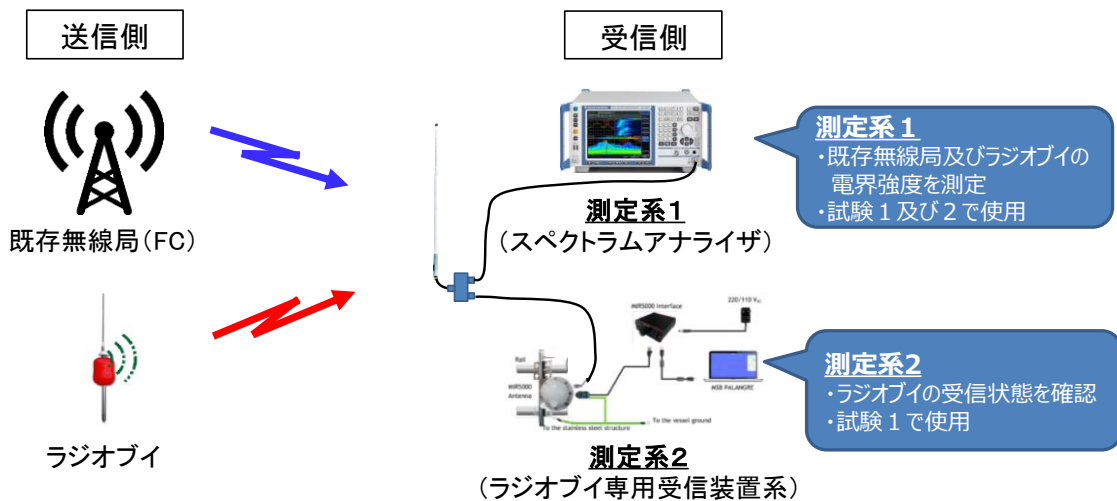


図 6-2 「試験 1」と「試験 2」の試験構成

(4) 供試機の諸元と構成

実フィールド試験で使用する供試機としては、4章で述べたように MI 社の供試機を使用する。供試機の諸元を表 6-3 に、構成を図 6-3 に示す。それぞれ異なる周波数を送信する 7 つの供試機を使用する。

表 6-3 供試機の諸元

	26MHz帯ラジオ・ブイ
メーカー	marine instruments
型番	M3P
空中線電力	5W
変調方式	FSK
周波数	26145/26150/26155/26160 26165/26170/26175kHz
送信間隔	5分/10分/15分
測定データ	位置(緯経度)
アンテナ	ホイップ
アンテナ利得	2dBi

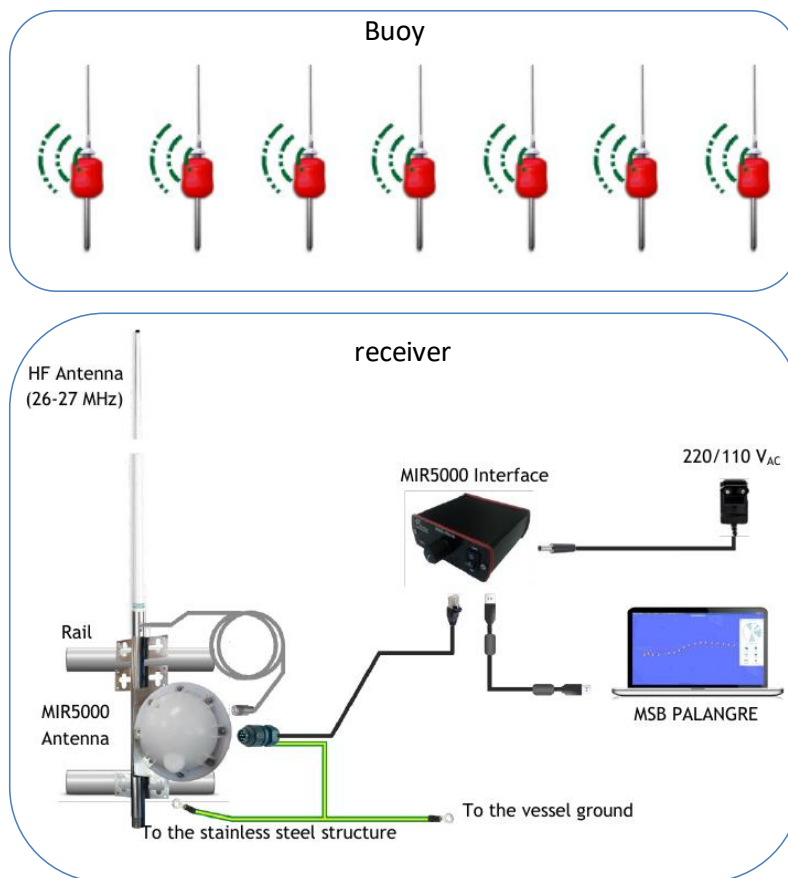


図 6-3 供試機の構成

6.2 試験 1 (電波伝搬特性及び有効通達距離) の内容と結果

(1) 試験手順

試験 1 のイメージを図 6-4 に示す。陸上受信点から最大 50NM (約 90km) 程度までの数箇所にて供試機のブイを投入し、陸上受信点において

- ・ 供試機からの電波の受信レベルを図 6-2 の測定系 1 で測定
- ・ 各投入箇所において位置情報等の表示が可能なことを図 6-2 の測定系 2 で確認

することにより、電波伝搬特性及び有効通達距離を把握する。

供試機のブイは、3 基 (CH1/CH4/CH7) 又は 7 基 (CH1~CH7) をワイヤに接続し、陸上受信点に対して漁船が遮蔽しない方向へ投入する。



図 6-4 試験 1 のイメージ図

(2) 陸上受信点の選定

陸上受信点は、海上における船での受信を模擬するものである。実フィールド試験で使用する漁船 (第 17 福洋丸) に設置されている空中線の高さ (海拔高) の中央値は約 10m であり、本船は近海マグロ漁船で平均的なサイズであることから、陸上受信点のアンテナ高も同等にする。

以上から、陸上受信点の選定条件を次のようにした。

- ・ 外洋に面しクリアランスが確保できること
- ・ アンテナ高が海拔 10m 高にできること

上記条件を考慮し、陸上受信点 1 ヶ所と、参考データ取得用として他に 2 ヶ所を選定した。選定した陸上受信点を表 6-4 に、地図上の位置を図 6-5 に示す。本試験の目的とするデータは陸上受信点 1 で取得した。陸上受信点 1' は、陸上受信点 1 より高台にあって標高が高く、アンテナ高の条件には合致しないが見通しが良い。このため、陸上受信点 1 が受信不可のときに確認のため使用した。また、陸上受信点 2 では参考データを取得した。

表 6-4 選定した陸上受信点

項目	詳細	備考
陸上受信点 1	岩井崎「三陸復興国立公園」内駐車場	緯経度: 38.830, 141.602 アンテナ高10m
陸上受信点 1'	津波避難施設(波路上杉ノ下)	緯経度: 38.827, 141.587 標高約20m
陸上受信点 2	気仙沼向洋高校	緯経度: 38.834, 141.576 標高約20~30m



図 6-5 陸上受信点の地図上の位置

(3) 陸上受信点での受信結果

測定器の受信画面の例を図 6-6 と図 6-7 に示す。図 6-6 は測定系 1 のスペクトラムアナライザの観測結果例であり、この例は供試機ブイからの信号(ピークマーカを付けたところ)が環境雑音レベル近くまで落ち込んでいる場所での測定結果である。図 6-7 は測定系 2 の供試機専用受信機でのデータ受信結果画面例であり、供試機ブイからのデータ受信が成功すればブイの番号、時刻、経緯度が記録される。

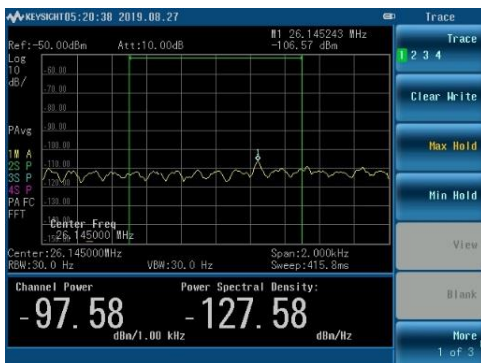


図 6-6 スペクトルアナライザ観測結果例

Number	Date	Lat	Lon	T	Vcc
33992	27/08/2019 05:00:00	38.61840057	142.3829956	0.2	12.6
33995	27/08/2019 05:04:00	38.61893463	142.382665	51	12.6
33992	27/08/2019 05:10:00	38.62026978	142.3821564	0.2	12.6
33995	27/08/2019 05:14:00	38.62079748	142.3818258	51	12.6
33992	27/08/2019 05:20:00	38.6219991	142.3813426	0.2	12.6
33992	27/08/2019 05:30:00	38.62393188	142.3806559	0.2	12.6
33995	27/08/2019 05:34:00	38.62459946	142.3805033	51	12.6

↑ 時刻 ↑ 緯経度

図 6-7 データ受信結果画面例

試験ポイントと受信成否の結果を図 6-8 に示す。WP1～WP9 は、時系列の試験ポイントを表す。陸上受信点で供試機ブイからのデータが受信できた試験ポイントはそのデータを使ってブイ位置をプロットし、陸上受信点でデータが受信できなかった試験ポイントは漁船上で受信したデータをもとに試験時刻におけるブイの位置をプロットしている。なお、「WP8, 9」のポイントは、試験 2 の投縄開始(WP8)から投縄終了(WP9)後に陸上受信点で観測したものである。WP1～WP4 では、スペクトラムアナライザで信号観測ができ、かつ専用受信機でブイの経緯度と時刻のデータ受信に成功した。しかし WP5 以降では、雑音に埋もれて信号波形が見えず、かつ専用受信機でもデータ受信できなかった。念の為 WP6、WP7 ではより見通しの良い陸上受信点 1' に移動して試験を行ったが、やはり信号観測もデータ受信もできないことを確認した。

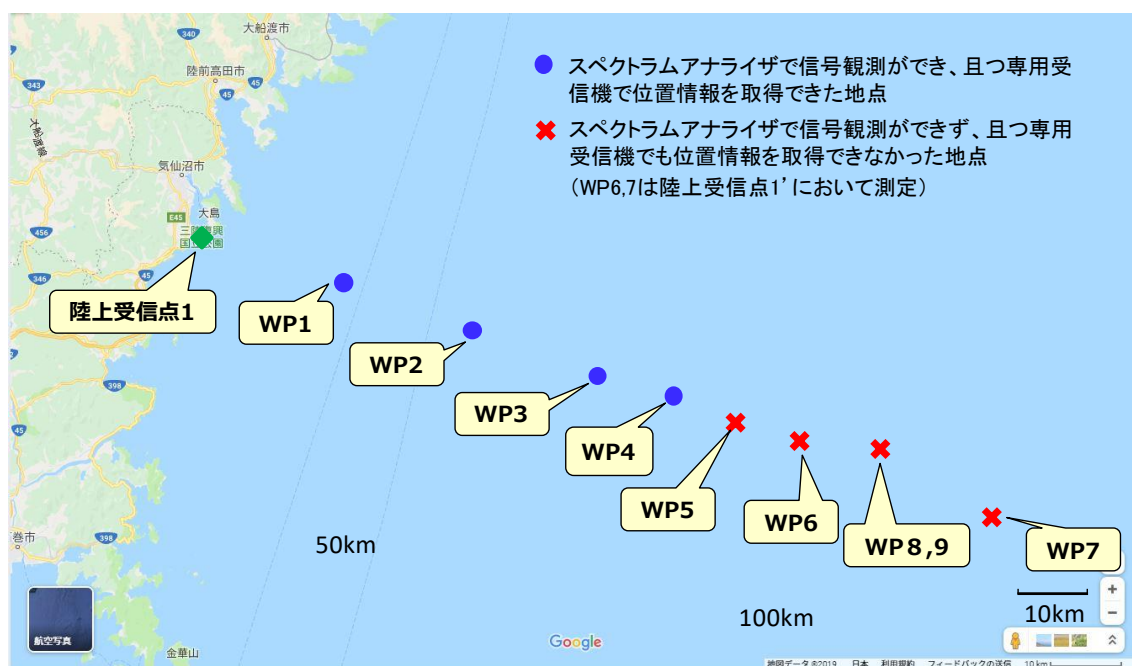
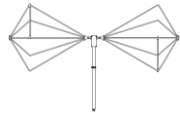
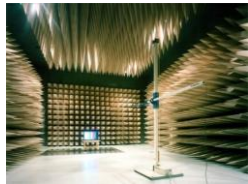


図 6-8 試験ポイントと受信成否の結果

(4) 供試機ブイの EIRP 特性

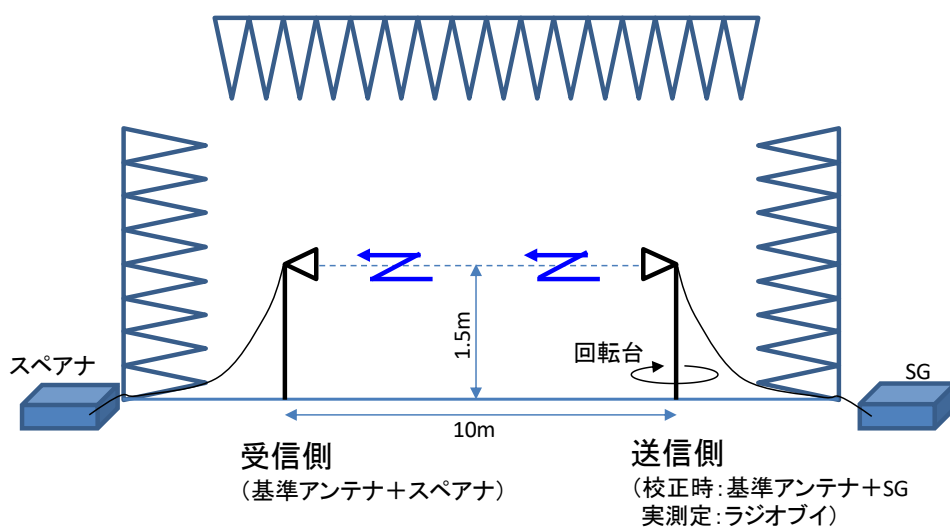
供試機ブイの送信能力を把握するため、EIRP の測定を実施した。測定環境に関する主なものを表 6-5 に示す。

表 6-5 EIRP 測定環境

種別	内容	備考
スペクトラムアナライザ	Keysight社 N9038A	
信号発生器	Keysight社 N5173B	基準EIRP校正用
基準アンテナ	Gain:-16.2dBi @26MHz帯 (SCHWARZBECK社 VHBB 9124 Balun with Biconical Elements)	
暗室	富士通ゼネラルEMC研究所 第二電波暗室 大きさ:長さ23m×幅12~14m×高さ9.4m サイトアッテネーション:±4dB以内	

測定では、まず既知の EIRP (信号発生器 + 基準アンテナ) において受信されるレベルを測定し、その値を基準とし供試機ブイでの受信レベルとの差分から供試機ブイの EIRP を評価する。測定イメージを図 6-9 に示す。

供試機ブイは 10 分間に 3.9 秒間電波を発射するため、そのタイミングにおいてのみ受信レベルの測定が可能である。垂直面内及び水平面内それぞれで 4 点及び 6 点の測定を行った。



得られた結果を表 6-6-1 及び表 6-6-2 に示す。それぞれの測定条件・補正值等を表 6-6-3 及び表 6-6-4 に示す。座標系を図 6-10 に示す。

表 6-6-1 に示す通り、本供試機ブイの EIRP は 19.5dBm であることが判明した。ただし、全ての角度の中での最大値ではない等、必ずしも正確な測定でない恐れがある点に留意する必要がある。また、水平面内及び垂直面内でレベル変動がみられることから、海上の実環境においてはブイの向きや傾きによってレベル低下が見込まれる。これらの影響として、各面内におけるバラツキの中央値から、水平面内では 4.1dB (中央値: 15.4dBm と 19.5dBm との差分)、垂直面内では 1.7dB (中央値(0° ~ 30°): 10.5dBm と 12.2dBm との差分)として計 5.8dB のレベル低下を見込むこととする。

なお、表 6-6-3 及び表 6-6-4 における、基準アンテナ受信電力と理論値との差異については、測定環境が5面暗室のため、水平面内測定では下面からの反射波(垂直偏波)が同相近く合成され理論値よりやや高く受信され、垂直面内測定では下面からの反射波(水平偏波)が逆相近く合成され、理論値よりも低く受信されたものと考えられる。

表 6-6-1 水平面内特性

角度 [ϕ :degree]	EIRP [dBm]	測定値 [dBm]
0	19.5	-16.5
90	15.3	-20.7
180	15.5	-20.5
270	12.9	-23.1

表 6-6-2 垂直面内特性

角度 [θ :degree]	EIRP [dBm]	測定値 [dBm]
-10	12.3	-43.6
0	12.2	-43.6
10	10.8	-45.1
20	10.1	-45.8
30	8.7	-47.2
40	6.3	-49.6

表 6-6-3 水平面内測定の場合、補正等

基準アンテナ利得	-16.2	dB
送信出力	0.0	dBm
ケーブル損失	-0.1	dB
基準EIRP	-16.3	dBm
基準アンテナ受信電力	-52.3	dBm
(参考) 理論値	-53.3	dBm
補正值 (基準⇒供試機)	-36.0	dB

表 6-6-4 垂直面内測定の場合、補正等

基準アンテナ利得	-16.2	dB
送信出力	0.0	dBm
ケーブル損失	-0.1	dB
基準EIRP	-16.3	dBm
基準アンテナ受信電力	-72.2	dBm
(参考) 理論値	-53.3	dBm
補正值 (基準⇒供試機)	-55.9	dB

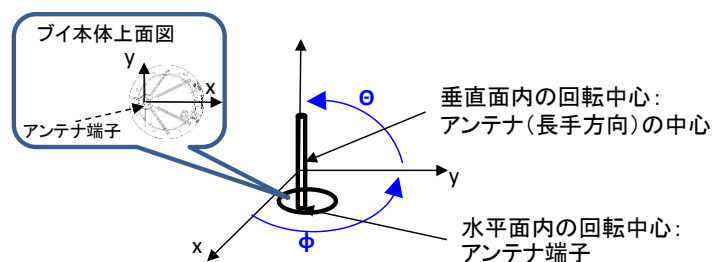


図 6-10 EIRP 測定の座標系

なお、参考までに測定の様子や結果例をそれぞれ図 6-11、図 6-12 に示す。

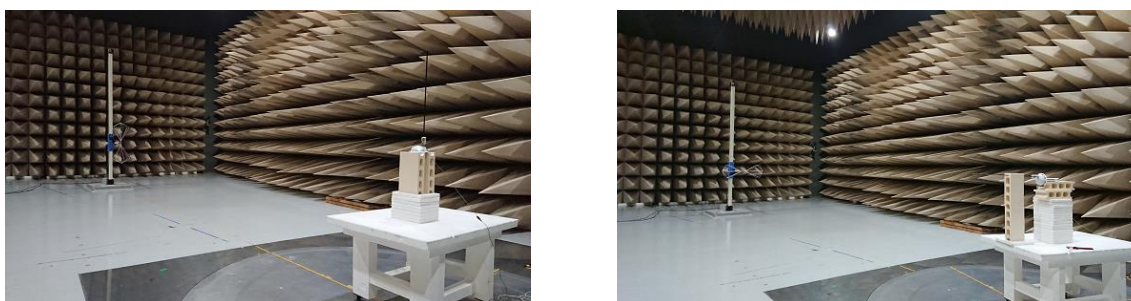


図 6-11 測定の様子(左:垂直面、右:水平面)

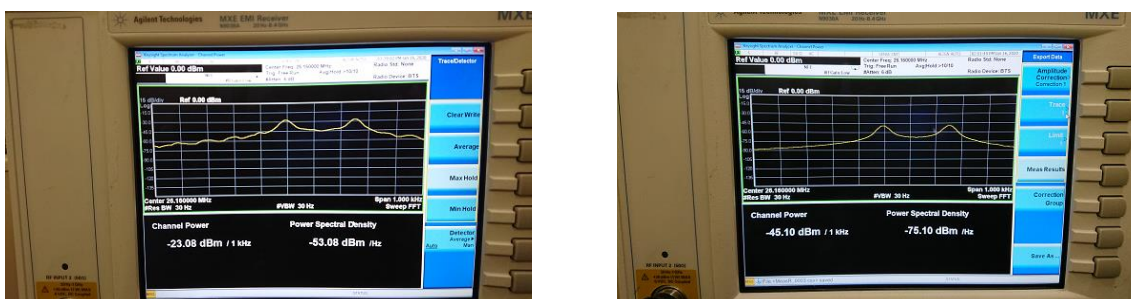


図 6-12 測定結果例(左: $\Phi=270^\circ$ 、右: $\theta=10^\circ$)

(5) 受信レベル距離特性

図 6-13 に本試験で得られた受信レベルの距離特性の結果を示す。またそれぞれの測定値を表 6-8 に示す。また、同図には自由空間損失モデル及び球面大地回折モデルに基づく計算結果も併記した。自由空間損失及び球面大地回折損失を以下に示す。なお、表 6-7 に計算条件を示すが、同表において送信 EIRP やブイ変動マージンには前項(4)で検討した結果を使用した。同図から、測定値と理論値が概ねよく合致していることが確認できる。

なお、短波帯の電波伝搬については、ITU-R P.368-9 に比誘電率や導電率等の海面の電気的特性に応じた伝搬カーブがとりまとめられており、今後、これを活用した検討が望まれる。

自由空間損失 $Loss(d) = 20 \log_{10} 4\pi d/\lambda$ (dB)

球面大地回折損失 $Loss=F(X)+G(Y1)+G(Y2)$ (dB)

ここで、 $F(X)$, $F(Y)$, X , Y はそれぞれ以下となる。

$$F(X) = 11 + 10 \log(X) - 17.6 X \quad \text{for } X \geq 1.6$$

$$F(X) = -20 \log(X) - 5.6488X^{1.425} \quad \text{for } X < 1.6$$

$$G(Y) \cong 17.6(B-1.1)^{1/2} - 5 \log(B-1.1) - 8 \quad \text{for } B > 2$$

$$G(Y) \cong 20 \log(B + 0.1B^3) \quad \text{for } B \leq 2$$

$$X = \beta \left(\frac{\pi}{\lambda a_e^2} \right)^{1/3} d \quad Y = 2\beta \left(\frac{\pi^2}{\lambda^2 a_e} \right)^{1/3} h$$

$$\beta = \frac{1 + 1.6 K^2 + 0.67 K^4}{1 + 4.5 K^2 + 1.53 K^4}$$

$$K^2 \approx 6.89 \frac{\sigma}{k^{2/3} f^{5/3}}$$

また、上記において、 d , λ , h , a_e , k , f はそれぞれ以下の通りである。

d : 距離 (km)

λ : 波長 (m)

h : アンテナ高 (m)

a_e : 等価地球半径 (km)

k : 等価地球半径係数

f : 周波数(MHz)

σ : 導電率(S/m)

表 6-7 計算条件

項目	値
周波数	26.1MHz
波長	11.5m
送信アンテナ高	1.0m
送信EIRP	19.5dBm
受信アンテナ高	10.0m
受信アンテナ利得	2.1dBi
受信系分配器損失	6.0dB
ブイ変動マージン	5.8dB
等価地球半径係数(k)	4/3
導電率(σ)	5 S/m

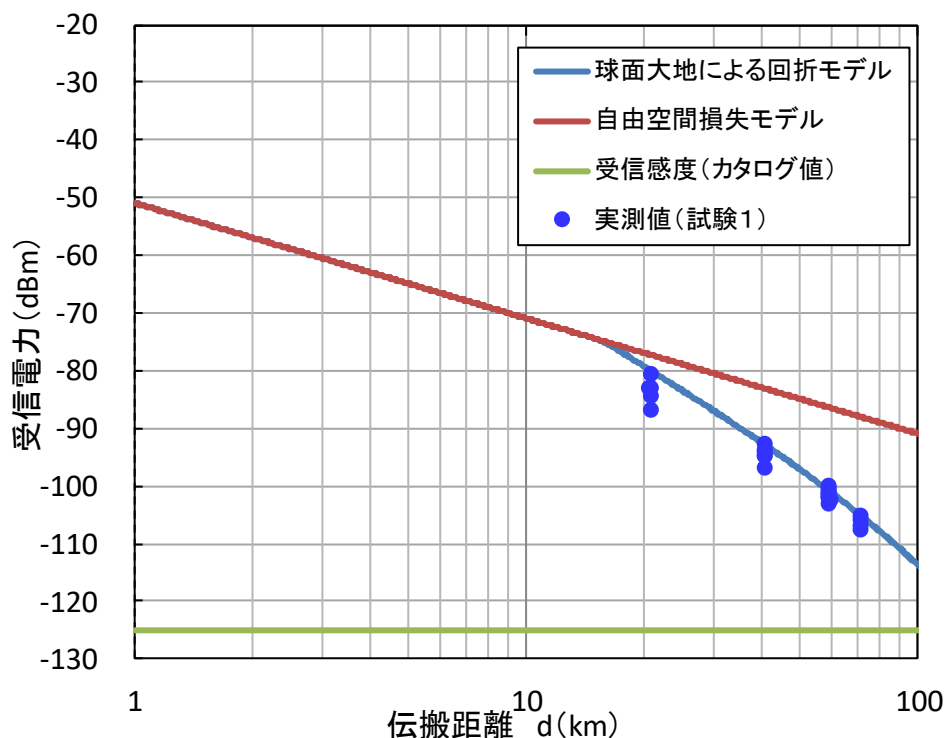


図 6-13 受信電力の距離特性

表 6-8 各点での測定値

	CH1		CH2		CH3		CH4		CH5		CH6		CH7	
	Pr (dBm)	距離 (km)	Pr (dBm)	距離 (km)	Pr (dBm)	距離 (km)	Pr (dBm)	距離 (km)	Pr (dBm)	距離 (km)	Pr (dBm)	距離 (km)	Pr (dBm)	距離 (km)
WP1	-80.7	21.0	-	-	-	-	-83.2	20.9	-	-	-	-	-86.8	20.9
	-84.6	20.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-83.2	20.7
WP2	-92.9	40.9	-	-	-	-	-94.0	40.9	-	-	-	-	-97.1	41.0
	-95.0	41.0	-	-	-	-	-95.0	41.0	-	-	-	-	-94.4	41.0
WP3	-103.4	59.8	-	-	-	-	-101.6	59.7	-102.3	59.7	-100.3	59.6	-	-
	-102.2	59.6	-102.0	59.6	-101.4	59.5	-101.3	59.5	-100.1	59.4	-100.8	59.3	-	-
WP4	-106.1	71.5	-	-	-	-	-107.6	71.6	-	-	-	-	-	-
	-105.4	71.7	-	-	-	-	-107.1	71.8	-	-	-	-	-	-

(6) 試験 1 の結果のまとめ

試験 1 で得られた結果をまとめると、次のようになる。

- ・ 実測値は、球面大地回折モデルによる計算結果とよい合致が見られた。
- ・ スペアナで信号観測できた場所はいずれもデータ受信に成功した。
- ・ 80km 以上の距離ではスペアナで信号観測できず、かつデータ受信もできなかった。データ受信に成功したのは 70km までであり、有効通達距離としては 70km 以上 80km 未満となった。
- ・ 環境雑音の影響により、受信感度(カタログ値)までまだ 10dB 以上の余裕があると想定される地点(80km 地点)においてもデータ受信やスペアナでの信号観測ができなかった。

6.3 試験 2(通信システム相互間の電波による影響)の内容と結果

(1) 試験手順

試験 2 のイメージを図 6-14 に示す。実際の漁場を想定し、洋上において供試機・ブイ 7 基 (CH1~CH7) を約 2km 間隔で計 12km (はえ縄の 1 スパン相当) のはえ縄に接続して投入する。はえ縄端から約 3NM (5km) 離隔した位置の漁船において

- ・ 既存無線局及び供試機・ブイ 7 基からの受信レベルを図 6-2 の測定系 1 で測定
- ・ 供試機・ブイ 7 基の位置情報等の表示が可能なことを図 6-2 の測定系 2 で確認

することで D/U を測定し、供試機及び海上移動業務通信相互間の電波による影響を把握する。

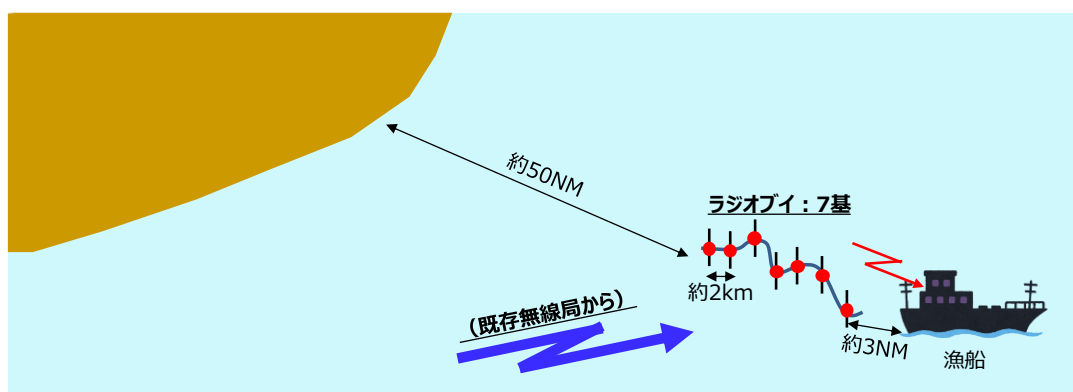


図 6-14 試験 2 のイメージ図

(2) 海上受信点

漁船と供試機・ブイの航跡と受信点を図 6-15 に示す。WP7 のポイントで既存無線局の受信試験を行った。その後 WP8 のポイントに戻って投縄を開始し、WP9 のポイントで投縄を終了した。漁船は WP10 のポイントまで離れ、そこで供試機の受信試験を行った。

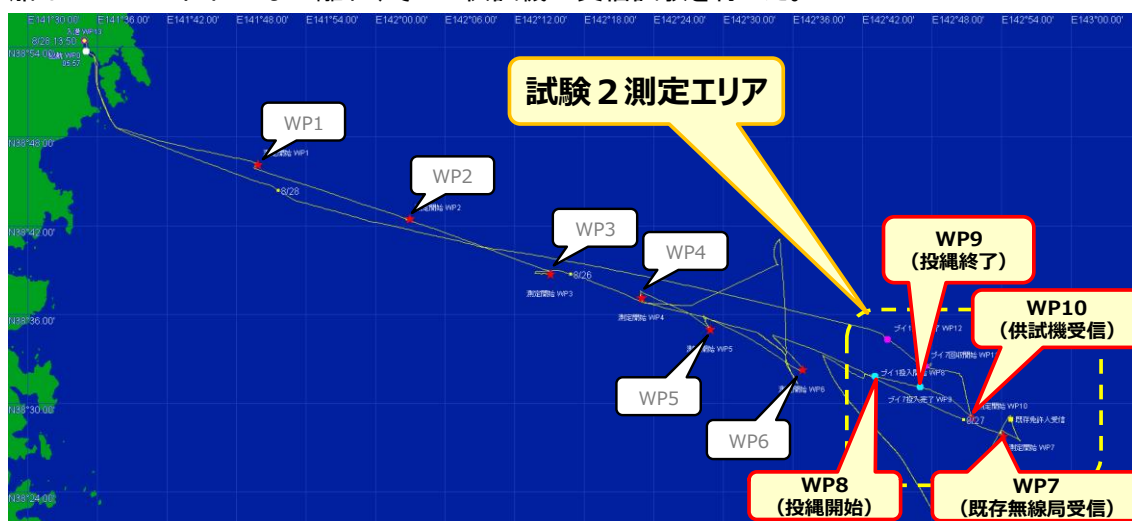


図 6-15 漁船と供試機・ブイの航跡と受信点

(3) 伝搬損失モデルによる既存無線局受信レベル距離特性

既存無線局からの信号を大型船で受信する場合として、表 6-9 に示す計算条件で、自由空間及び球面回折の両伝搬損失モデルにより試算した受信電力を図 6-16 に示す。気仙沼沖 100km 地点付近は既存無線局から約 600km 地点付近にあたり、同図から受信電力は-170dBm 以下となり、地上波による伝搬経路からこの地点での測定は難しいと想定された。また、同地点付近は既存無線局からスキップゾーンに位置するため、上空波による伝搬経路(電離層反射)での受信も難しいと想定された。

表 6-9 計算条件

項目	値
周波数	26.1MHz
波長	11.5m
受信アンテナ高	25.0m
受信アンテナ利得	2.1dBi

※開示可能データのみ記載

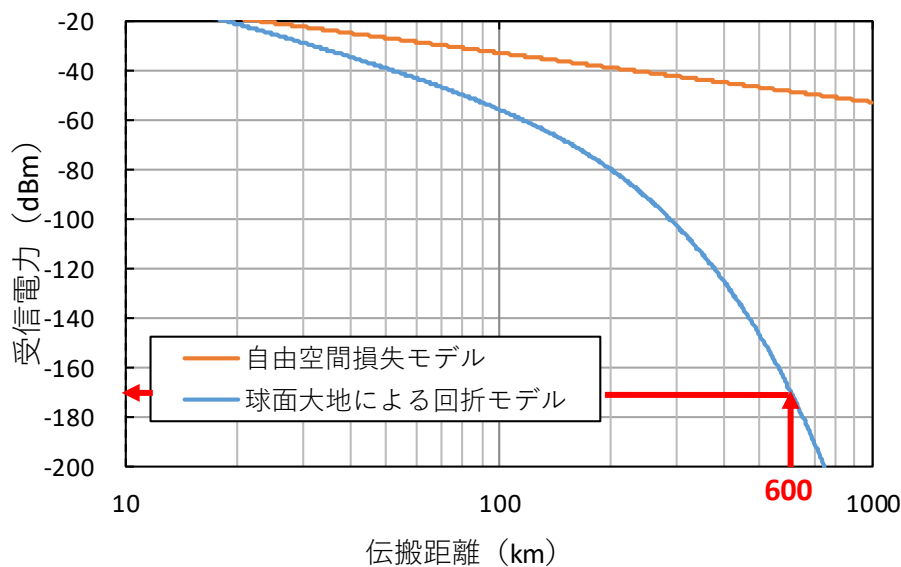


図 6-16 伝搬損失モデルによる既存無線局受信レベル距離特性

(4) 希望波(既存無線局)の受信試験結果

WP7 のポイントにおいて測定した、希望波(既存無線局)の帯域のスペクトラムアナライザ画面を図 6-17～図 6-19 に示す。既存無線局の中心周波数は、26.151MHz、26.154MHz、26.160MHz の 3 つである。どの周波数も雑音に埋もれており、信号を確認することはできなかった。また、本信号は音声信号であることから音声の聴取も試みたが、聴取できなかった。

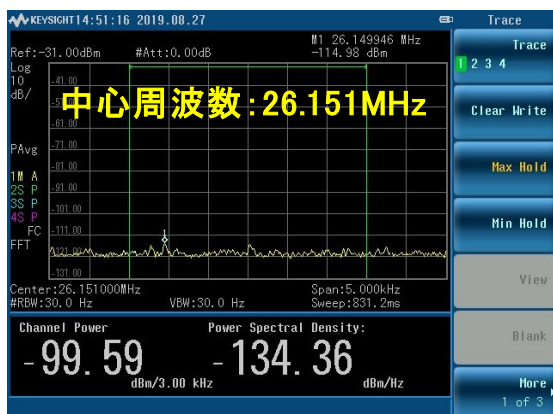


図 6-17 既存無線局帯域のスペクトル(1)

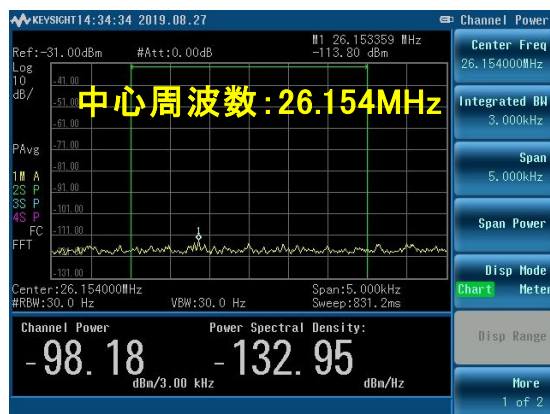


図 6-18 既存無線局帯域のスペクトル(2)

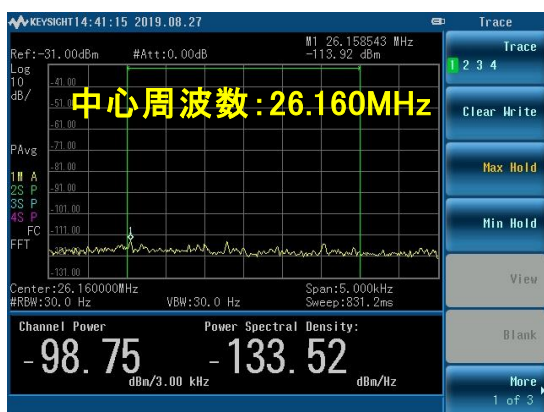


図 6-19 既存無線局帯域のスペクトル(3)

(5) 妨害波(供試機)の受信試験結果

WP10 のポイントにおいて測定した、妨害波(供試機)の信号波形のスペクトラムアナライザ画面の例を図 6-20～図 6-22 に示す。FSK 変調であるため、大きな波形を 2 つ確認できる。ブイ#1 より#7 の方がレベルが高いのは、ブイ#7 の方が受信点である漁船に近いためである。7 つのブイは、すべて問題なく受信できた。

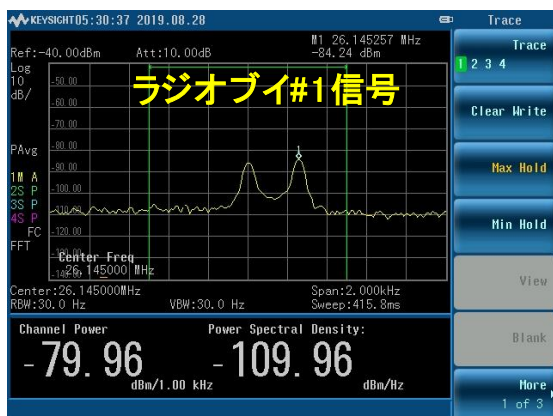


図 6-20 供試機の信号波形例(1)

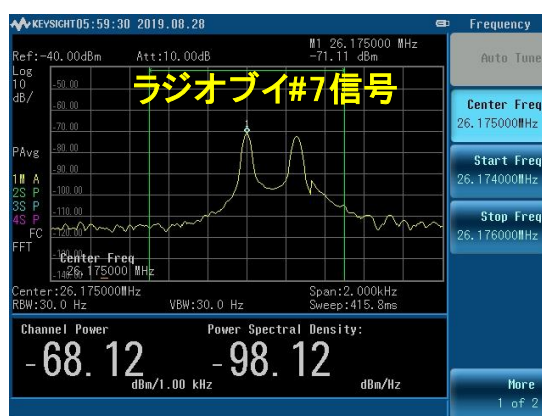


図 6-21 供試機の信号波形例(2)

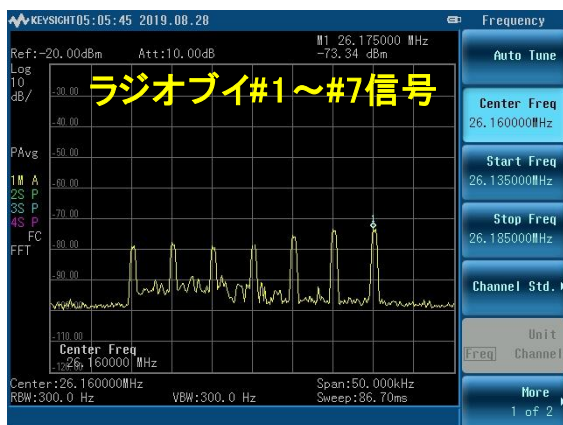


図 6-22 供試機の信号波形例(3)

本試験で得られた供試機・バイ受信電力対距離のデータ(表 6-10)を試験 1 で得られた特性(図 6-13)に重ねてプロットした。その結果を図 6-23 に示す。図 6-23 の赤点が試験 2 で得られた点である。測定結果は自由空間損失モデルに概ね合致していることがわかる。試験 1 と比して、若干ではあるが理論値との乖離が見られる原因として、試験 1 では受信アンテナは開放空間に設置され周囲からの影響がなかったが、試験 2 では図 6-24 に示すように受信アンテナの周囲に他の漁業用アンテナが林立しており、これらの影響が考えられる。

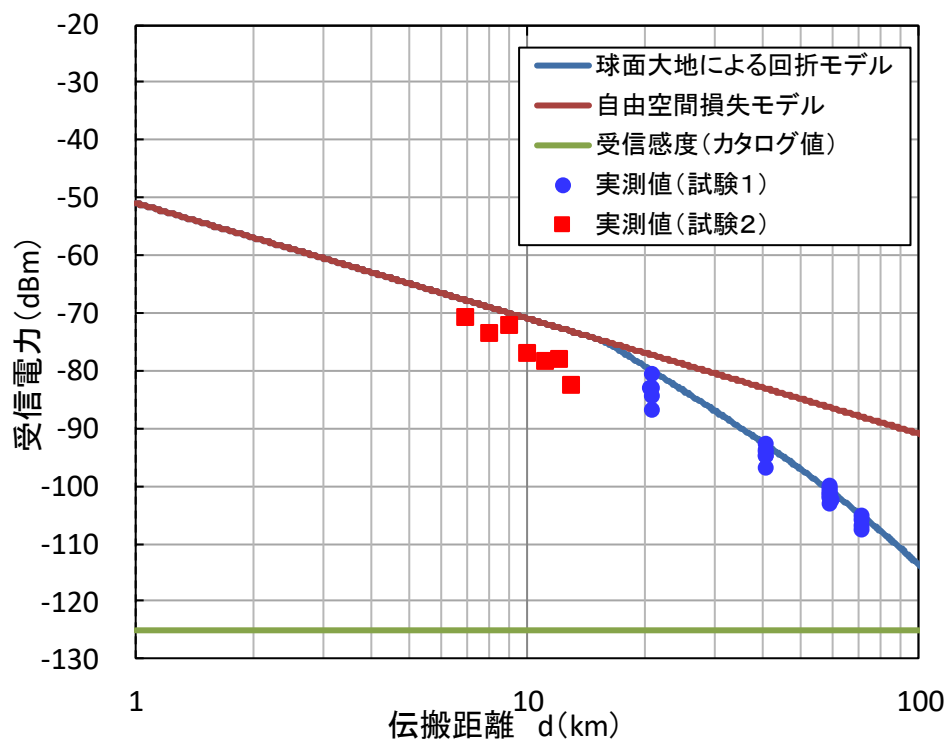


図 6-23 供試機・ブイ受信電力の距離特性(試験1+試験2)

表 6-10 各点での測定値

CH	Pr (dBm)	距離 (km)
1	-83.0	13.1
2	-78.4	12.2
3	-78.6	11.3
4	-77.3	10.1
5	-72.6	9.1
6	-73.7	8.1
7	-71.1	7.0



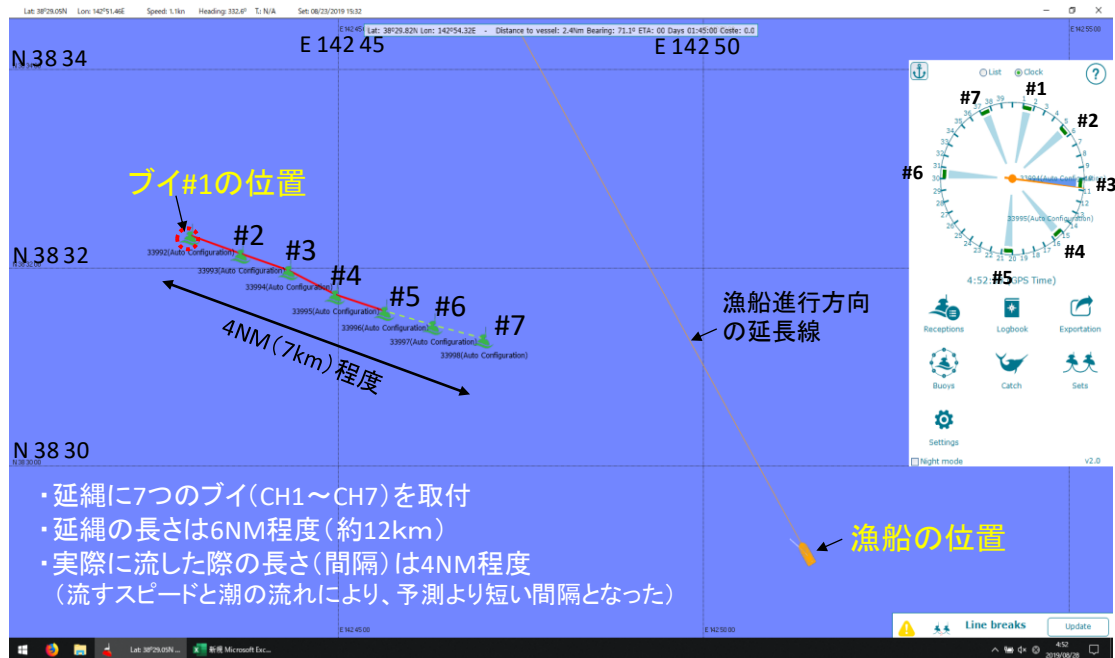
図 6-24 船舶側受信アンテナの設置状況

(6) データ受信試験

供試機ブイからのデータ受信が成功すると、専用受信機に接続したパソコン上の地図に位置等が表示される。以下に、その表示状況を示す。

① 事前に登録してある供試機ブイや漁船の位置の表示(図 6-25)

今回は事前に7つの供試機ブイを登録しており、それぞれシリアル番号で区別されている。同図は、ブイをはえ縄に取付けて流したときの表示である。緑色の△印が各供試機・ブイの位置、右下のオレンジ色の四角が漁船の位置を示している。はえ縄の長さは6NM程度であるが、海上では4NM程度の間隔になっていることがわかる。ブイ間の距離が設定した閾値を超えると、はえ縄が切れた可能性があるとしてアラートを出す。画面右上の時計のようなものは「Time Window」と呼ばれているものであり、各ブイのタイムスロットを示している。これについては、次の「受信状態の表示」の項目で説明する。



- ・ブイ間の点線は、延縄が切れた可能性がある場合のアラートを示す
※ブイ間の長さを任意に指定可能。試験時の指定が短かった。

図 6-25 供試機・ブイや漁船の位置の表示

② 供試機ブイ電波の受信状態の表示(図 6-26)

各供試機ブイは GPS 時間に同期しており、10 分間に 1 回、各ブイに割り当てられたタイムスロットになると電波を自律的に約 3.9 秒間発信する。画面右上の TimeWindow は、オレンジ色で示されている針が 10 分で一周して現在時刻を表し、#1～#7 として色が付いているところが各ブイのタイムスロットを表している。ブイ電波を受信する時は、TimeWindow と同期して該当ブイの表示も赤くなる。

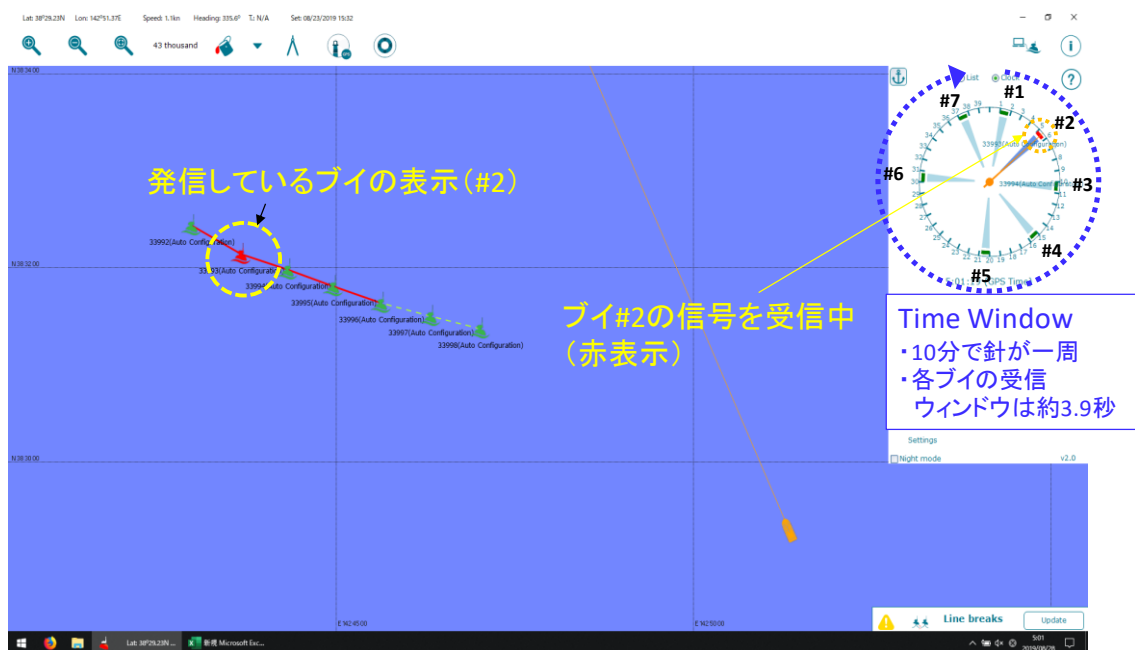


図 6-26 供試機・ブイ電波の受信状態の表示

③ 漁船と供試機ブイの航跡画面(図 6-27)

既受信データを使って、任意時間帯の漁船と供試機ブイの航跡の表示が可能である。図は、投縄→待機→受信測定、の後にブイ回収に向かうまでの航跡を示したものである。ブイの航跡から、潮でどの程度流されたかがわかる。本画面は、漁船が回収開始地点でブイの方向を確認した上ではえ縄回収に向かう途中の画面であり、最終的にはえ縄探索に要した時間は 12 分程度であった。



図 6-27 漁船と供試機ブイの航跡画面

(7) 試験 2 の結果のまとめ

試験 2 で得られた結果をまとめると、次のようになる。

- ① 供試機及び海上移動業務通信相互間の電波による影響
 - ・ 既存無線局の周波数帯はスペアナで信号観測できず、音声も聴取できなかった。
- ② 漁船上での供試機ブイのデータ受信
 - ・ 実際のはえ縄操作を想定したオペレーションにおいて、良好にデータ受信ができた。
 - ・ 供試機の受信機ソフトによりブイの位置や軌跡が地図上にプロットされることで、投入後のブイ探索を比較的容易に行うことができた。