

魚群探知機実用化への技術課題と解決策

1 技術課題

1.1 感度

海底探知を目的とする測深器と比べ、より後方散乱強度（反射強度）の小さい魚群探知を目的とする魚群探知機には、相応の高感度化が求められる。当時の魚群探知機の仕様値を用いて海底および魚群のエコーレベルを算出したグラフを図1. に、算出に用いたパラメータを表1に示す。

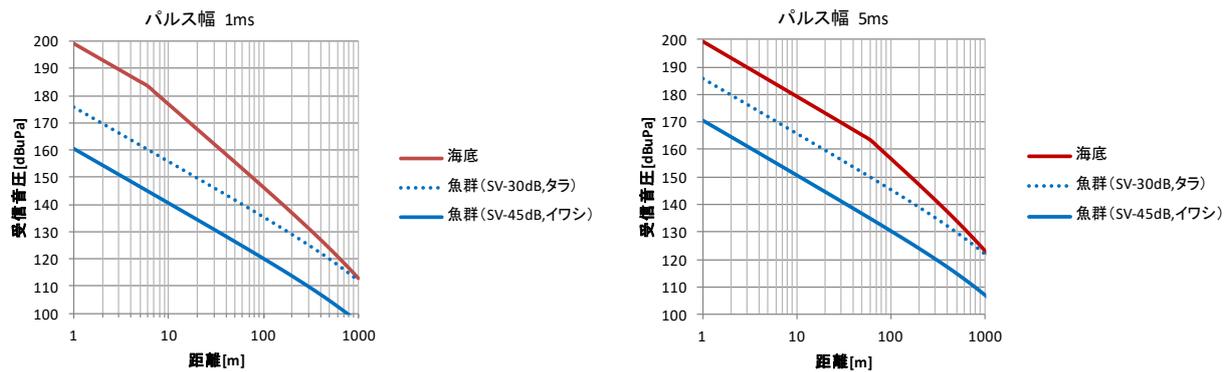


図1. 海底・魚群の受信音圧 パルス幅 1msec(左)、5ms(右)

図1を見ると、日本国内の主力漁船が対象としているイワシ魚群を探知する為には、海底に比べて30~40dBの高感度化が必要であることが判る。イワシ魚群と海底の受信強度の差については、超音波測深並に其の応用に関する研究 p60、橋本富寿と一致している。

一方、北欧などではより大型魚も主要漁船象となつた点に、違いが見られる。上図から、タラなどの大型魚が魚群となった場合の受信強度は、イワシやアジ魚群に比べて10~20dB高くなる為、探知が相対的に容易であったことも判る。

表 1

パラメータ	値	リファレンス
周波数	14.5kHz	各社魚群探知機性能表（昭和 26 年 12 月） 出典：超音波測深並に其の応用に関する研究 p128、橋本富寿
ビーム幅	27°	100 型音響測深機の性能 出典：超音波測深並び魚探の研究 p 106、橋 本富寿
パルス幅	1ms・5ms	通常 100m レンジ、500m レンジで各々用い られるパルス幅で代用
送波音圧レベル	210dB μ Pa@1m	送波器出力および指向性利得より推定 超音波測深並に其の応用に関する研究 p64-67、橋本富寿
海底散乱強度	-10dB	各種底質における 90° 入射（真下鉛直入射） ～80° 入射の海底後方散乱強度の平均値 水中音響の原理 / ロバート J. ユーリック 著；土屋明 訳 物理学辞典
魚群の体積散乱強度 SV （イワシ）	-45dB	Fernandes, P.G., Kornielussen, R.J., Lebourges-Dhaussy, A., Masse, J., Iglesias, M., Diner, N., Ona, E., et al., 2006. The SIMFAMI Project: Species Identification Methods from Acoustic Multifrequency Information. Final Report to the EC, Q5RS-2001-02054
魚群の体積散乱強度 SV （タラ）	-30dB	Gurshin, C.W., J. M. Jech, W. H. Howell, T.C. Weber , and L. A. Mayer, “Measurements of acoustic backscatter and density of captive Atlantic cod with synchronized 300-kHz multibeam and 120-kHz split-beam echosounders,” <i>ICES J. Marine Sci.</i> , 66: April 2009.

1.2 走行中の雑音と減衰

1.2.1 走行中の雑音

図 4 に示すように、船舶が走行すると船底に気泡層が発生し、気泡崩壊や気泡と送受波器面との摩擦により音響雑音を誘起する。この現象は舷側装備時にも同様に起こり、図 5. に船底装備時の実測結果および図 6. に舷側装備時の結果を示す。

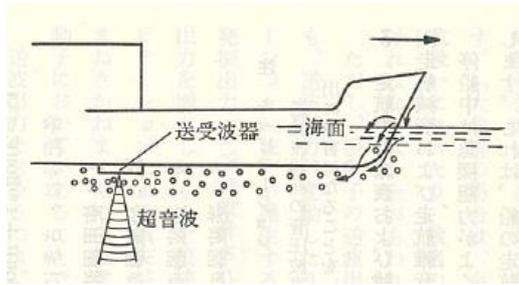


図 4. 走行時の気泡発生の様子

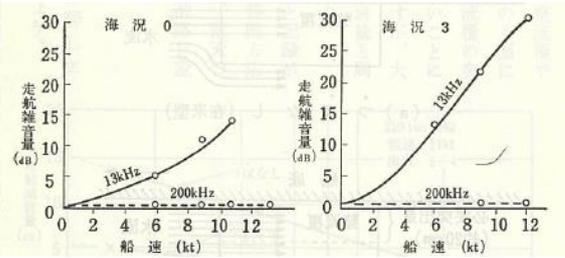


図 5. 船底装備時の航行雑音 (海況 0, 3)

(魚探の効果的な使い方 p90-91、加藤増夫)

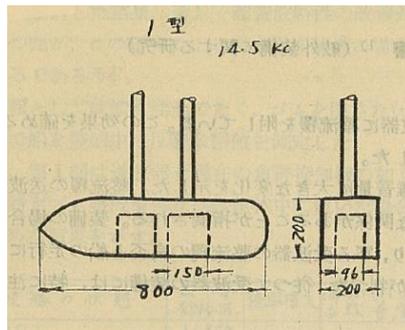


図 6. 舷側装備実験時の送受波器

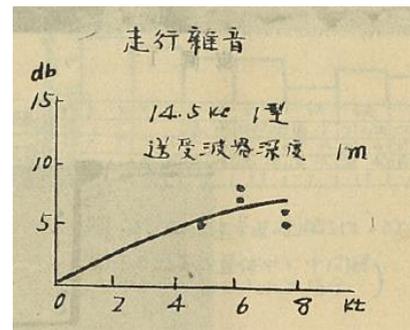


図 7. 舷側装備時の航行雑音

(超音波測深並に其の応用に関する研究 p90、橋本富寿)

図 5、図 7 から、当時 (昭和 24 年頃) の旋網漁船標準船速 8kt の走行時には、7~8dB の雑音上昇が見られる。更に図 5 より、海況が悪化すると航行雑音はより大きくなることが判る。

注：海況 3 とは、波高 0.5~1.25m の風浪状況を表す。

1.2.2 走行中の音波減衰

走行時発生した気泡は、船底を層状に後方へ流れ、送波器から送出される送信音波を吸収散乱により減衰させ、更にエコー受信時にも、受波器に到来する音波を減衰させる。

図 8. に船底装備時の減衰量、図 9. に舷側装備時の送受減衰量を示す。

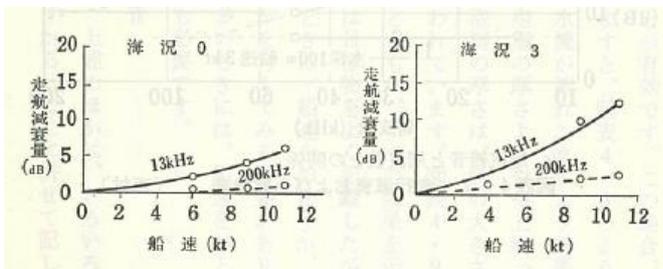


図 8. 船底装備時の航行減衰量 (海況 0,3)

(魚探の効果的な使い方 p91、加藤増夫)

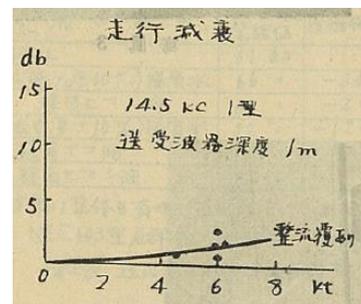


図 9. 舷側装備時の航行減衰量

(超音波測深並に其の応用に関する研究 p90、橋本富寿)

走行雑音と同様に、海況悪化により減衰量も大きくなる。

2 技術課題の解決

2.1 高感度化

2.1.1 受信機増幅率の向上

古野電気が入手した航路保安器は真空管 2 段の増幅器であった為、イワシやアジなどの反射強度の低い魚群エコーを感知するには、増幅率を 30~40dB 高める事が必要であった。増幅器に真空管増幅器を 1 段追加し、増幅率を 40dB 高めて 125dB の増幅利得を達成した。

2.1.2 音響透過損失の改善

航路保安器の送受波器は、酸化し易いアルフェロ合金を振動子材料として用いていたため、通常図 2 のように密閉し、清水やひまし油などを満たした構造で船底内装備されていた。従って、鉄製の保護層を介して送受信されることにより、透過損失が発生した。図 3 は、鉄板の厚みと透過率の関係を表しており、典型的な船底鉄板厚み 6mm の場合、片道 4dB 程度の損失が起こることが判る。

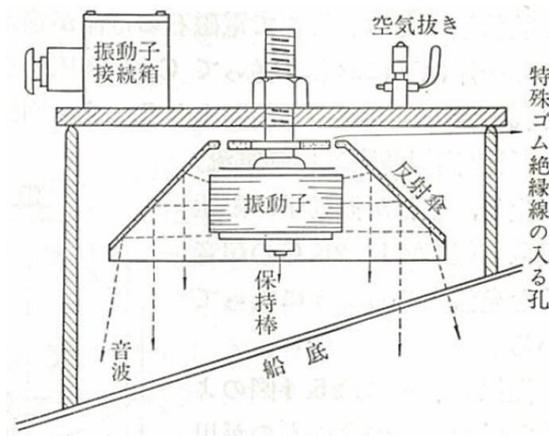


図 10. 航路保安器の送受波器と船内装備
(音響測深儀と魚群探知機 p109, 山本耕策)

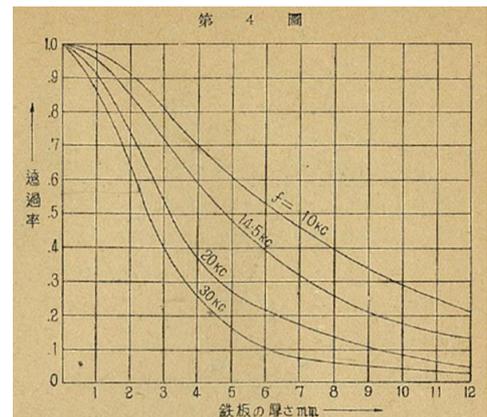


図 11. 鉄板の透過率の理論値
(超音波測深並び魚探の研究 p37, 橋本富寿)

古野電気は、送受波器をゴムモールドし、船底から突出して装備することにより、この透過による損失を防いだ。この解決策により送信音圧強度を 4dB、受信感度を 4dB それぞれ向上させた。

2.1.3 気泡層による音波減衰への対策

1.2 で述べたように、走行時には気泡の影響により音波減衰が発生し、等価的に魚群探知機の感度を低下させる。この対策の為に、古野電気は次の二つの手段を講じた。

①船底突出装備

船底の気泡層は 20cm 以下であることが後の実験で明らかになったが、送受波器面をこの気泡層より突出して装備することにより、音波減衰を画期的に抑圧することができた。

また、舷側装備では、図 4.に示す気泡流を超えた深い位置に送受波器を配備することが困難であった為、対策としては限界があった。

②整流覆の工夫

船底突出と併せて、送受波器面に気泡層が流入しないようにする工夫が施された。整流覆に図 12.に示す「つば」部を設けることにより、気泡流を送受波器面より上部に流すことができる。この対策により、図 13.に示すように、海況悪化時の高速走行に置いても（海況 3～4）、減衰量を 8dB 抑圧することができた。

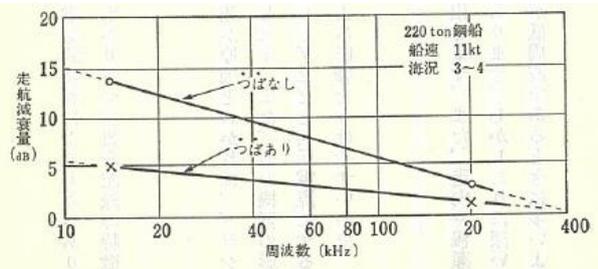
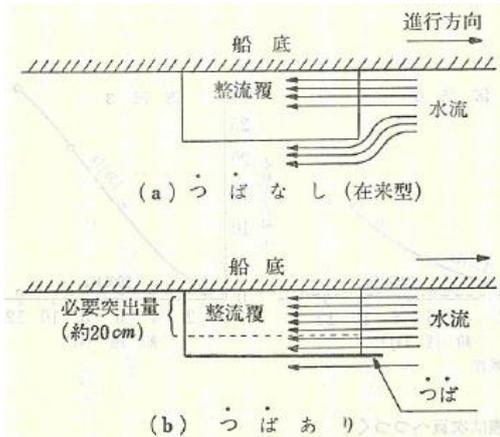


図 12. 船底流と整流覆のつばの効果 図 13. 走行減衰量と周波数の関係
(魚探の効果的な使い方 p92-p93、加藤増夫)

木船での船底装備方法として図 14.に示すつばあり整流覆が推奨されている。整流覆の左側（船主側）の凹部の形状がつばとなり、船首から流れてくる気泡を送受波面からブロックすることができる。

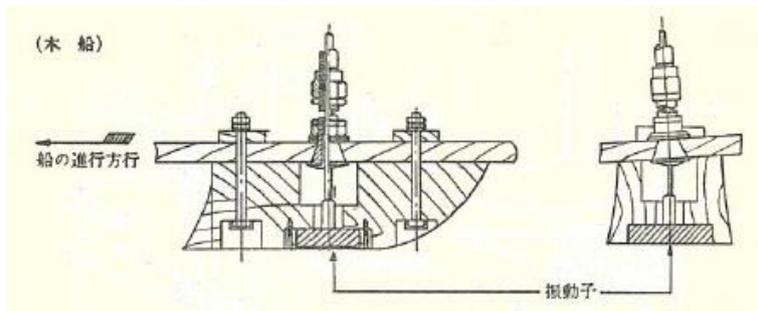
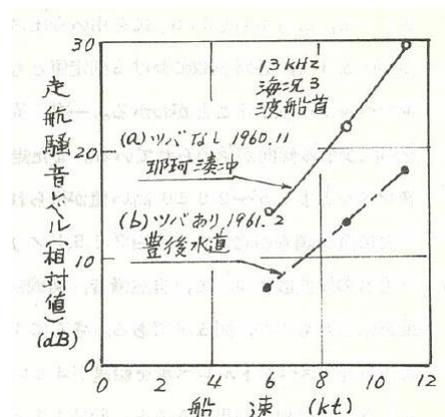


図 14. 木船の船底装備説明図
(魚探の効果的な使い方 p208、加藤増夫)

2.2 走行雑音の抑圧

1.2.1 で述べた走行雑音を抑圧する対策は、感度向上対策と同じ船底突出装備と整流覆の工夫(つば効果)であった。気泡層により発生する走行雑



音は、気泡層を送受波器面から遠ざけることにより影響を少なくすることが出来る。図 15. はつばあり整流覆による走行雑音低減効果の実験結果である。図より、つば効果により 8kt で約 7dB の雑音低減が達成されていることが判る。

図 15. 北米丸、つばあり整流覆とつばなし整流覆の走行雑音レベルの比較（魚群探知機の最適周波数に関する研究 p54、西村実）

3 課題解決に関する考察

1.1 で求めた受信レベルの理論計算値に、システムの最小受信レベルおよび対策前後の走行雑音レベルを追加し、上述してきた課題解決を数値的に考察する。

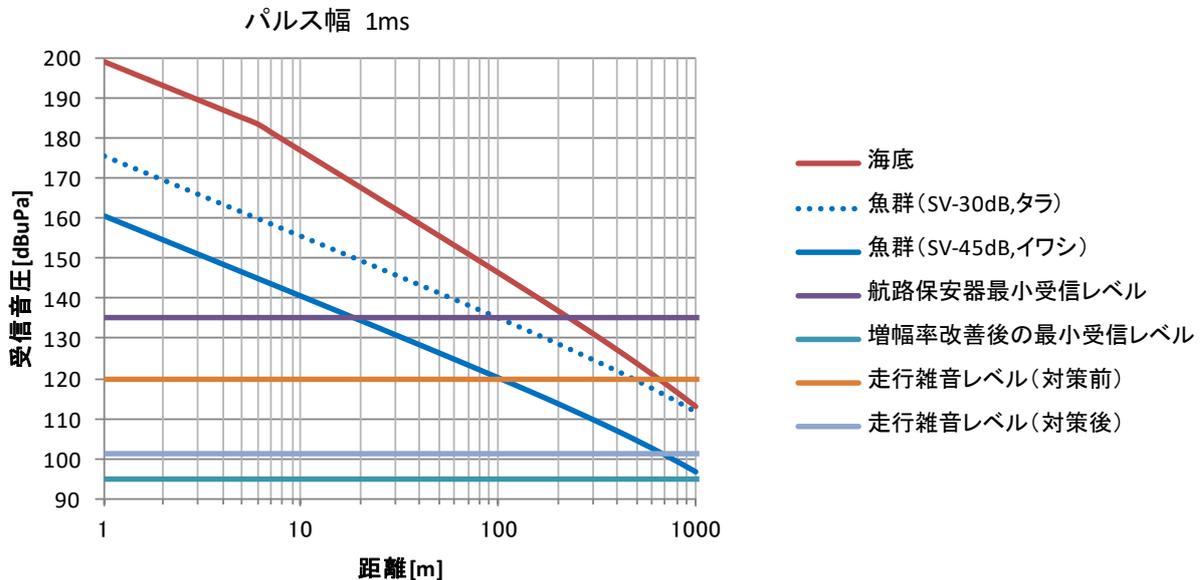


図 16. 課題解決による魚群探知性能向上の説明図

- ◆ 古野電気が入手した航路保安器の最小受信レベルは、海底は探知できるがイワシなどの対象魚群が探知できなかったことから類推し、135dB とする。
- ◆ 対策で実施した 40dB の増幅率向上により、最小受信レベルは 95dB となった。
- ◆ 対策前の走行雑音レベルは、図 5 の海況 3、8kt の条件を用いて、120dBuPa とする。
- ◆ 対策後の走行雑音レベルは、対策による対走行雑音 SN 比上昇分を求めて、対策前の雑音レベルから減じることにより求める。送波の鉄板透過損失を無くしたことにより、4dB の S 向上、整流覆の工夫による S 上昇分が 8dB、整流覆の工夫による走行雑音抑圧により、N が 7dB 減少、以上総合すると、崔作により SN 比は 19dB 向上した。従って対策後の走行雑音レベルは、101dB となる。

図 16.により、対策前は、最小受信レベルが高すぎて、イワシ魚群が探知できなかった。増幅率の向

上により、イワシ魚群が探知可能となったことも読み取れる。しかし、走行時には雑音が増し、100m水深で走行雑音に完全にマスクされ、検知できない。感度や走行雑音対策により 19dB の S N比向上が得られ、走行雑音が 101dB まで抑圧でき、100m 水深においても 19dB の S N比（マージン）を持ってイワシ魚群が探知できるようになったと考えられる。