

音響掃海機の発振出力調整によるマルチビーム測深機の 干渉ノイズ軽減効果[†]

住吉昌直^{*1}, 吉澤 信^{*1}, 木下裕巳^{*1}, 衛藤哲大^{*2}, 福本拓生^{*2}

Reduction of interference sound noise in multibeam echosounder by transmit power adjustment of
multi-channel echosounder[†]

Masanao SUMIYOSHI^{*1}, Makoto YOSHIZAWA^{*1}, Hiromi KINOSHITA^{*1}, Tetsuhiro ETO^{*2},
and Takuo FUKUMOTO^{*2}

Abstract

Multibeam echosounders, newly installed on all the survey vessels of the Regional Coast Guard Headquarters in March 2014, are encountering acoustic interference from conventional multi-channel echosounders. In order to reduce this interference sound noise, we adjusted transmit power and frequencies of the multi-channel echosounders and examined its effectiveness. In this paper, we report some results of the experiments.

1 はじめに

海上保安庁海洋情報部では、平成 25 (2013) 年度に、管区海上保安本部所属の測量船に船底装備しているマルチビーム測深機をデュアルヘッド型マルチビーム測深機 (R2Sonic 社製 Sonic2024 DH) に更新した。この測深機の導入により、スワス測深の有効幅が 140 度と広くなり、従来のおよそ 1.5 倍の測深幅のデータ取得が可能となることによって、調査の効率化が図られた。さらに、測深点が高密度になるため、統計的精度評価が可能となることに加え、測深点群のビジュアル化も精細になる。調査能力が向上する一方で、データ収録が各ビームに対するデジタル水深値に限定されるため、浅所からの振幅の小さい信号を取りこ

ぼした場合には、原記録にもどって弱い信号の有無を確認することができない。この短所を補うために、4つのシングルビームを発する音響測深機 (ここでは音響掃海機) を同時運用し、アナログ紙記録を得て、真の海底からの弱い信号の有無を確認する必要がある。ところが、当庁が使用している音響掃海機 (千本電機社製 PDR-8000SD) から送波された音波がノイズとしてマルチビーム測深機側に顕著に現れるようになっており、マルチビーム測深機と音響掃海機との併用が困難な状況となっている。

換装後に干渉ノイズが顕著に見られるようになった原因としては、本マルチビーム測深機の特徴でもある受信周波数の可変機能によることが考

[†] Received October 13, 2015; Accepted December 1, 2015

*1 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division

*2 第三管区海上保安本部 海洋情報部

Hydrographic and Oceanographic Department, 3rd Regional Coast Guard Headquarters

えられる。本マルチビーム測深機で使用されているソナーである Sonic2024 は、およそ 60 kHz の帯域幅をもって受信した音波からデジタル信号処理にて受信音波の周波数を選択するため、Sonic 2024 で選択した受信周波数付近に発振周波数を持つ他の機器からの干渉ノイズに敏感な特性になっていると考えられる。

また、旧型の音響掃海機（千本電機社製 PDR-601）では、現行型の音響掃海機（PDR-8000SD）と発振周波数は同じにもかかわらず、Sonic2024 と併用しても干渉ノイズが発生しにくいという現象が確認されている。製造元に確認したところ、現行型の PDR-8000SD は、旧型の PDR-601 と比較して、送信部の回路の変更により送信効率の向上が図られたことから、同じ送信回路の電源電圧であっても発振音波の出力が相対的に大きくなっているとのことであり、このことが旧型では干渉ノイズが生じにくい要因であると考えられる。

以上の事象を手がかりに、音響掃海機の併用による干渉ノイズ軽減のための対処方法を検討し、改造した音響掃海機（千本電機社製 PDR-8000 SDZ）を用いた検証実験を行った。

本稿では、まず第 2 章において、音響掃海機の併用による干渉ノイズの現状について述べ、第 3 章において、音響掃海機の併用による干渉ノイズの軽減のための対処方法を検討する。第 4 章では、改造した音響掃海機を用いた検証実験の結果を報告し、第 5 章において、検証実験の結果に基づき結論・考察を導き、今後の干渉ノイズ軽減のための具体的対策についての提案する。

2 音響掃海機による干渉ノイズの現状

現在、管区海上保安本部所属の測量船に船底装備されているデュアルヘッド型マルチビーム測深機（Sonic2024DH）による測深作業では、「水路測量業務準則施行細則」（海上保安庁海洋情報部，2014）2-7-3 第 5 項に基づき、音響掃海機（PDR-8000SD）の併用に努めているが、音響掃海機による干渉ノイズが見られる場合は、同第 6 項を適用し、干渉ノイズの原因となっている音響

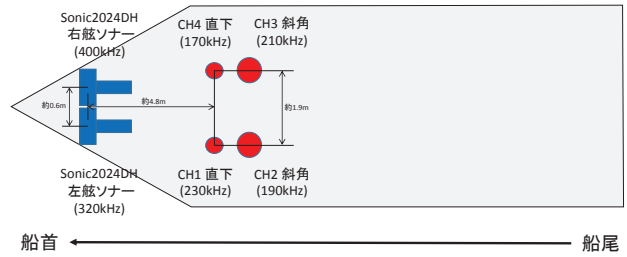


Fig 1. Transducer locations of multibeam echosounders (Sonic2024DH) and multi-channel echosounders (PDR-8000SD) on survey vessels of the Regional Coast Guard Headquarters.

図 1. 管区 20 m 測量船におけるマルチビーム測深機 Sonic2024DH と音響掃海機 PDR-8000SD の送受波器の船底配置。

掃海機の送受波器の発振を停止する措置を講じている。

マルチビーム測深機と音響掃海機の送受波器の船底配置の概略 (Fig. 1) と周波数は、下記の通りである。

- (1) マルチビーム測深機
 - 左舷ソナー：320 kHz
 - 右舷ソナー：400 kHz
- (2) 音響掃海機
 - 左舷前方：230 kHz (CH 1 直下)
 - 左舷後方：190 kHz (CH 2 斜角)
 - 右舷後方：210 kHz (CH 3 斜角)
 - 右舷前方：170 kHz (CH 4 直下)

後述の検証実験の通り、マルチビーム測深機に見られる干渉ノイズ (Photo 1) は、音響掃海機の CH 2, CH 4 を発振したときに顕著に現れる。干渉ノイズが現れるソナーは決まっており、CH 2 による干渉ノイズは右舷ソナーに、CH 4 による干渉ノイズは左舷ソナーに現れる。このことは、Sonic2024DH の受信周波数に近い CH 2, CH 4 の第二次高調波 (CH 2：380 kHz, CH 4：340 kHz) がマルチビーム測深機の右舷、左舷ソナーと干渉していると考えられる。

また、CH 4 を発振したときには特に強い干渉ノイズが現れるが、これは、船底装備されたマルチビーム測深機の送受波器と音響掃海機の CH 4

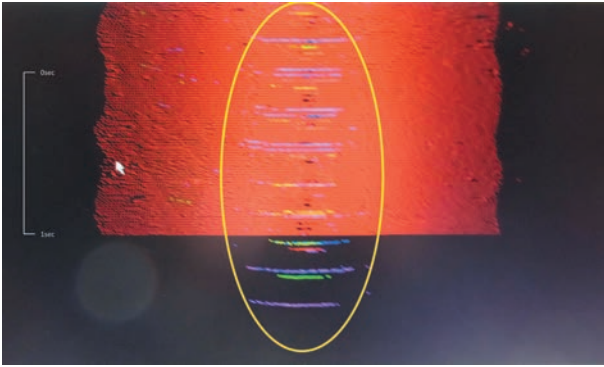


Photo 1. Interference sound noises in Sonic2024DH sounding data. Swath data observed by Sonic2024DH are shown on the window from top to bottom. Orange points are soundings from the actual seafloor of approximately 20 m depth, and arc-shaped point groups in other colors (e.g. red, pink, yellow, green, and blue), periodically seen at nadir, are interference sound noises from PDR-8000SD.

写真1. マルチビーム測深機 Sonic2024DH の測深データに見られる干渉ノイズ。マルチビーム測深機で取得したスワスデータが画面上方から連続表示されている。橙色の点群は、本来の海底面（水深 20 m 程度）を表示しているが、別の色で表示されている直下付近の円弧状の周期的に見られる点群は、音響掃海機による干渉ノイズである。

送受波器の位置が CH 2 送受波器と比べて近いためと考えられる。

3 干渉ノイズ軽減のための対処方法の検討

音響掃海機の併用による干渉ノイズを軽減するための対処方法を検討するにあたり、非常に複雑な精密機器であるマルチビーム測深機の改造については事実上不可能であるため除外し、音響掃海機の改造について検討を行う。

音響掃海機の改造方法の検討において、主に下記 3 点に着目する。

- (a) 音響掃海機から発振する音波出力を小さくする
- (b) 音響掃海機から発振する音波の周波数を変更する
- (c) 音響掃海機の送受波器をマルチビーム測深

機から物理的に離す

対処方法(a)については、音響掃海機の送信回路の電源電圧を小さくすることにより、発振音波の出力を小さくして、干渉ノイズの音源を小さくする手法である。出力の小さい旧型音響掃海機では干渉ノイズが発生しにくいことから、効果は十分に期待される方法である。一方で、音響掃海機の測深性能を落とすことになるため、深い水深までのデータ取得ができなくなる可能性がある。

対処方法(b)については、音響掃海機の発振周波数を変更することによって、マルチビーム測深機との干渉が生じないようにする手法である。Sonic2024 は広帯域型マルチビーム測深機であることから、効果は限定的である可能性がある。更に、音響掃海機の送受波器の共振周波数から強制的に周波数をずらすため、音響掃海機の測深性能を著しく落とす可能性があり、音響掃海機のデータ取得ができなくなる可能性がある。

対処方法(c)については、事前調査として、2014 年 10 月、第三管区海上保安本部所属測量船「はましお」にて実施した。調査手法は、音響掃海機の舷側装備用の送受波器を用いて、船首側に装備されているマルチビーム測深機からの水平距離を徐々に大きくしていき、マルチビーム測深機の測深データを確認しながら干渉ノイズの影響が見られなくなるかどうか確認した。検証の結果、マルチビーム測深機から 10 m 程度以上離せば、干渉の影響が見られなくなることがわかった。

この結果は、音響掃海機の送受波器が既に船底装備されている測量船では不可能であるが、例えば、新造船の建造の場合「音響掃海機はマルチビーム測深機から少なくとも 10 m 以上は離して設置する。」といった一つの指針となると思われる。また、対処方法(a)(c)は、マルチビーム測深機へ入ってくるノイズ音源を小さくするという点において本質的には同じであるため、対処方法(a)も有効な手段であることが示唆される。

以上の検討結果から、対処方法(a)(b)について検証実験を行った。特に、対処方法(a)を中心に詳細な検証実験を行った。



Photo 2. Modified PDR-8000SDZ with transmit power volumes of CH 1-CH 4.

写真 2. 干渉軽減改造した音響掃海機 PDR-8000SDZ と音波の発振出力調整ボリューム。

4 改造した音響掃海機による検証実験

第 3 章における検討結果を踏まえて改造した音響掃海機 (PDR-8000SDZ) を用いて、マルチビーム測深機との併用のための検証実験を行う。具体的な検証実験の内容は下記 3 項目である。

- ① 音響掃海機の音波発振出力を小さく調整して、マルチビーム測深機に見られる干渉ノイズが軽減されるか検証する。
- ② 干渉ノイズが見られない程度に音響掃海機の音波発振出力を小さくした状態で、音響掃海機の測深能力を検証する。
- ③ 音響掃海機の発振音波の周波数を変更することで、マルチビーム測深機に見られる干渉ノイズが軽減されるか検証する。

本検証実験では、マルチビーム測深機と音響掃海機を常に同時発振した状態で実施している。

なお、本検証実験は、2015 年 4 月、第三管区海上保安本部所属測量船「はましお」にて実施した。

4.1 検証実験における使用機材

音響掃海機本体は、音波の発振出力を調整可能とする調整ボリュームが取り付けられた音響掃海機 PDR-8000SDZ を使用した (Photo 2)。更に、PDR-8000SDZ は、発振音波の周波数も変更できるような改造も施されている。その他の機能は、従来の PDR-8000SD と変更はない。

また、音響掃海機の送受波器は、「はましお」に船底装備されているものを使用した。ただし、「はましお」に船底装備されている CH 3 送受波器は発振出力が低下している傾向が見られたため、CH 3 の結果については、あくまで参考記録として扱うこととする。なお、本実験では、別の CH 3 送受波器を舷側装備して検証する予定であったが、悪天候のため危険と判断し、CH 3 の舷側装備は断念した。

マルチビーム測深機については、「はましお」に船底装備されている Sonic2024DH を使用し、設定は、通常の測量時と同様とした。特に、音響掃海機との干渉において重要となる発振音波の周波数は、左舷ソナー 320 kHz、右舷ソナー 400 kHz である。

4.2 検証実験①

まず、音響掃海機の音波発振出力の低減によるマルチビーム測深機の干渉ノイズの軽減効果を検証した。PDR-8000SDZ の各チャンネルの発振出力調整ボリュームと送信回路の電源電圧の関係を Table 1 に示す。音響掃海機を併用した状況下で、音響掃海機の音波発振出力ボリュームを小さく調整していき、マルチビーム測深データの干渉ノイズの大きさを確認し、干渉ノイズが見られなくなる音波発振出力を、各チャンネル (CH 1, CH 2, CH 3, CH 4) において測定した。

検証実験①は、八景島沖の水深 10-20 m の海域にて実施した。

検証実験①の結果は、以下の通りである (Photo 3)。CH 2 は、マルチビーム測深機の右舷ソナーに干渉ノイズが見られるが、ボリュームを +1 (最小ボリュームから +1 段階) に設定することで、干渉ノイズが見られなくなった。CH 4 は、マルチビーム測深機の左舷ソナーに強い干渉ノイズが見られるが、ボリュームを +1 (最小ボリュームから +1 段階) に設定することで、干渉ノイズが見られなくなった。CH 1, CH 3 については、最大ボリューム (改造前の発振音波出力) においても、干渉ノイズは見られなかった。

また、音響掃海機の全4チャンネルのボリュームを+1（最小ボリュームから+1段階）に下げ、併用した状態を確認すると、従来の音響掃海機

の使用時にマルチビーム測深データに見られていた干渉ノイズは見られなくなった。

Table 1. Relations between volume steps and transmit power voltage of CH1-CH4.

(Transmit power voltage of 'High' volume as the standard.)

表1. PDR-8000SDZの各チャンネルの発振出力調整ボリュームと送信回路の電源電圧の関係。(各チャンネルの最大ボリュームの送信回路の電源電圧を基準として表している.)

Transmit Power Volume	CH1 直下 (230kHz)	CH2 斜角 (190kHz)	CH3 斜角 (210kHz)	CH4 直下 (170kHz)
Low	4%	4%	5%	6%
+1	15%	16%	16%	19%
+2	33%	33%	34%	36%
+3	47%	46%	45%	50%
+4	58%	59%	63%	63%
+5	73%	72%	79%	79%
+6	92%	89%	90%	89%
+7	99%	98%	99%	95%
+8	100%	100%	100%	100%
+9	100%	100%	100%	100%
High	100%	100%	100%	100%

4.3 検証実験②

次に、干渉ノイズが見られないように音響掃海機の音波発振出力を低減させた状態における音響掃海機の測深能力を検証した。ここでは、音響掃海機の全4チャンネルのボリュームを+1（最小ボリュームから+1段階）に下げた状態において、どの程度の水深まで音響掃海機による測深が可能かを調べた。

検証実験②は、横須賀沖の水深20-70 mの海域（底質は砂）にて実施した。

検証実験②の結果、CH3を除く全チャンネル（CH1, CH2, CH4）について、上記設定ボリュームで、少なくとも概ね水深70 mまでは十分な測深能力が得られることが分かった（Photo 4）。

4.4 検証実験③

最後に、音響掃海機の発振音波の周波数を変更することで、マルチビーム測深機に見られる干渉

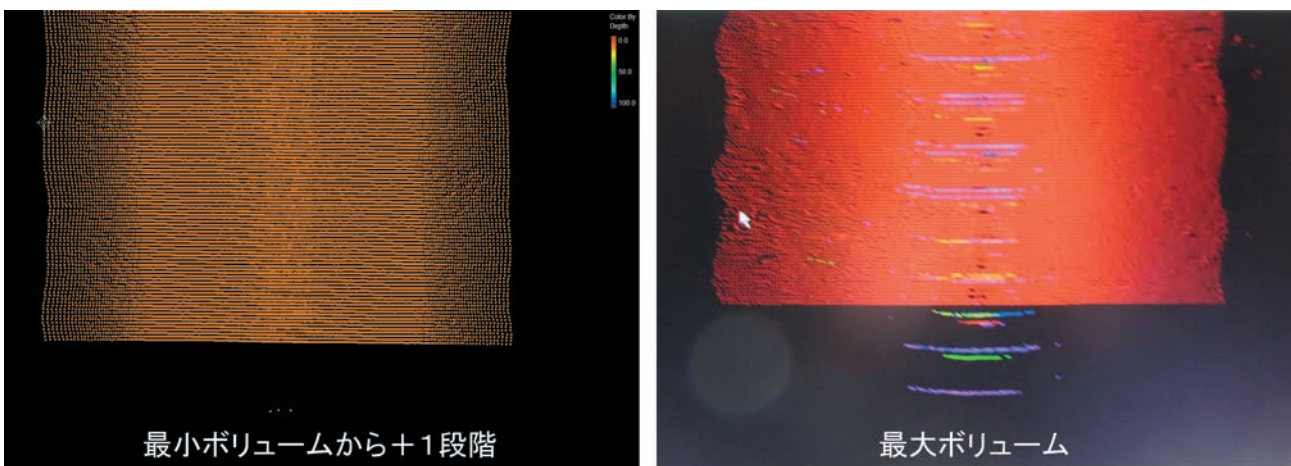


Photo 3. Sonic2024DH sounding data in simultaneous use of PDR-8000SDZ at transmit power volume '+1' (left) and 'High' (right, the same as Photo 1), respectively. At transmit power 'High', arc-shaped interference noises appear beneath the actual seafloor of approximately 20 m depth; at '+1', few interference noises appear.

写真3. PDR-8000SDZの発振出力ボリュームを+1（左）と最大（右）とした場合のSonic2024DHの測深データの状況。右は比較のための写真で、写真1と同じものである。発振出力が最大では、本来の海底面（水深20 m程度）の直下付近に、音響掃海機による円弧状の干渉ノイズが見られるが、発振出力を+1に下げると、干渉ノイズはほとんど見られない。



Photo 4. PDR-8000SDZ records at lowered transmit power of ‘+1’ (left) and Sonic2024DH sounding data (right) in depth of approximately 50–70 m. Even if transmit power of PDR-8000SDZ is reduced, record quality is sufficient at the depth of at least approximately 70 m. In addition, few interference noises appear in the sounding data of Sonic2024DH.

写真 4. 水深 50–70 m 程度における、音波発振出力を低減した PDR-8000SDZ の記録（左）と Sonic2024DH の測深データ（右）の状況。PDR-8000SDZ で発振出力を +1 に下げた状態であっても、少なくとも水深 70 m 程度まで良好な記録が得られている。マルチビーム測深データには干渉ノイズはほとんど見られない。

ノイズが軽減されるかを検証した。音響掃海機を併用した状況下で、音響掃海機の発振音波の周波数を基本周波数からシフトさせることで、マルチビーム測深データの干渉ノイズが変化するかを調べた。このとき、使用チャンネルは、干渉の様子が顕著に見られた CH4（基本周波数：167 kHz）とし、発振音波の出力は最大ボリューム（改造前の発振音波出力）とした。

検証実験③は、八景島沖の水深 10–20 m の海域にて実施した。

検証実験③の結果、音響掃海機の発振音波の周波数を ± 10 kHz 程度シフトさせても、マルチビーム測深データへの干渉軽減効果は見られなかった。また、発振音波の周波数を ± 50 kHz 程度まで大きくシフトさせると、干渉軽減の効果は得られるが、音響掃海機の送受波器の共振周波数から大きくずれるため、音響掃海機のデータ取得が困難になることがわかった。

5 考察および結論

第 4 章の検証実験の結果、本マルチビーム測深

データに見られる干渉ノイズ軽減対策として、音響掃海機の発振音波の出力を低減させることが有効であることが示された。音響掃海機の全チャンネルの発振音波の出力をボリューム +1（最小ボリュームから +1 段階）に設定することにより、マルチビーム測深データに見られていた干渉による影響は見られなくなる。また、このボリューム設定において、音響掃海機の発振出力の低減した設定であっても、少なくとも概ね水深 70 m までは十分な測深能力が得られることがわかった。仕様によると、改造前の PDR-8000SD の測深範囲は、底質によるものの、概ね水深 100 m 以浅であるので、測深能力は 3 割程度低下することになる。

本マルチビーム測深機を使用する場合、音響掃海機の発振音波の周波数をシフトさせることは、マルチビーム測深データに見られる干渉ノイズ軽減対策としては、適切ではないことがわかった。一般に、発振周波数をシフトさせることは干渉ノイズ軽減対策として有効であるが、今回、音響掃海機の周波数シフトが有効でなかった主要な要因

は、本マルチビーム測深機で使用されている Sonic2024 は幅広い受信周波数帯域を有しているため、音響掃海機の周波数を干渉ノイズの軽減に有効な値までシフトさせると、音響掃海機の測深性能を著しく損なってしまうからであると考えられる。

本検証実験の課題として、CH3の検証が挙げられるが、他チャンネルの実験結果を考えると、干渉ノイズの軽減対策は機能すると予想される。水深70 m以深の検証については、干渉ノイズの状況が水深に強く依存しないことから、干渉ノイズの原因は海底からの反射波ではなくサイドローブの可能性が高く、水深70 m以深においても干渉ノイズの軽減効果は十分に得られると予想される。

本結論から、音響掃海機の干渉ノイズ軽減対策のための改造として、マルチビーム測深機と併用する場合と併用しない場合を切り替えるための発振出力の切り替えスイッチのようなものがあれば充分であることが考えられる。この切り替えスイッチの導入により、音響掃海機を単独で用いる場合は、今までの測深能力を維持することができ、マルチビーム測深機と併用する場合は、干渉ノイズを軽減するため、発振出力を容易に低減させることが可能となる。また、既存の連続出力可変ボリュームの調整では、連続的に可変な回転つまみを観測者が調整するため、出力設定が曖昧になってしまうという欠点があったが、切り替えスイッチの導入により、この欠点も解消され、測深時の出力設定が明瞭かつ容易に確認できるようになると期待される。

謝 辞

本検証の計画から、千本電機株式会社様には、ご協力をいただきました。本検証実験の計画実施にあたり、第八管区海上保安本部海洋情報部の吉山武史官には多大なご支援をいただきました。本検証実験の実施にあたり、内田智宏官をはじめとした第三管区海上保安本部海洋情報部の職員の方々、第八管区海上保安本部海洋情報部の阿部周平官、測量船「はましお」の乗組員の方々のご支援をいただきました。査読者の方から頂いたコメントは非常に有益でありました。この場を借りて御礼申し上げます。

文 献

海上保安庁海洋情報部 (2014) 水路測量業務準則 施行細則 (昭和58年4月27日保水沿第13号, 平成26年3月31日保海海第253号により最終改正), 海上保安庁海洋情報部, 東京.
千本電機株式会社, PDR-8000SD 取扱説明書 Ver 3.3
千本電機株式会社, PDR-8000SDZ 取扱説明書 Ver 3.3 b
R2Sonic LLC, SONIC2024/2022 Operation Manual V 5.0 (Revision 002)

要 旨

平成25(2013)年度に更新の管区海上保安本部所属20 m型測量船のマルチビーム測深機について、マルチビーム測深データに深刻な干渉ノイズが生じるため、既存の音響掃海機との併用が困難な状況にある。これを改善するため、音響掃海機の発振出力を調整する等の設定を変更し、マルチビーム測深データにおける干渉ノイズ軽減の効果を検証した。本稿では、この検証結果について報告する。