

拓洋搭載深海用音波探査装置の使用上の諸問題と 解決対策について —観測ノート—

穀田昇一 ・ 佐藤 繁 : 測量船 拓洋

Some Practical Problems and Solutions on the Survey Operation and Maintenance of
Continuous Seismic Profiling System on S/V TAKUYO. —A Survey Notes—

Shoichi Kokuta and Shigeru Sato
Survey Vessel TAKUYO

1. はじめに

昭和58年に就役した拓洋には、海底下の深部地質構造を解明するために、水路部では初めてのマルチチャンネル(12CH)方式を含む最新の深海用音波探査装置一式を搭載した。

現在まで、6度にわたる大陸棚調査や相模南海トラフ等の海洋測量に使用したが、エアガン、ストリーマケーブルを10ノットの速力で連続2週間以上も昼夜兼行で曳航し、かつ風速15m/secの海上模様で調査を続行するといったハードな使用条件もさることながら、搭載機器に数々のトラブルが発生した。それは曳航ケーブルの断線に始まり、エアガンの相次ぐ破損・劣化、DFS-V地震探鉱機の初期故障、そしてコンプレッサーの初期故障及びドレン処理等のトラブルであり、我々を最も悩ませる装置ではあったが、幾多の改良を重ねた結果、現在(昭和60年8月)の使用状況からみて非常に安定してきたと言えよう。

筆者らは、これらのトラブルにその都度対処した結果、数々の操作・保守・修理上のノウハウを得たので、今後の考参になればと思い、機器毎の経緯を通して故障対策や操作・保守上の注意及び今後の問題点を中心に記述した。

2. 深海用音波探査装置の概要

本装置は大別すると高圧空気を作る空気圧縮部(設楽製作所製エアコンプレッサーWH3-75型×2台吐出圧力150kg/cm²)、高圧空気を水中に吐出して音源とする発音部(米ボルト社製PARエアガン1500CT×2個、チャンバー容量352及び466立方インチ、曳航ケーブル3本)、海底の地層から反射される音波を受信する曳航受波部(AMG社製12chストリーマケーブル:アクティブセクション12本+リードインケーブル+ストレッチセクション、テレダイン社製シングルチャンネルストリーマケーブル2本)、及びこの信号を増幅又はA/D変換して記録、収録する受信部(テキサスインスツルメント社製マルチチャンネル用地震探鉱機DFS-V、プリアンプ、レイセオン社製記録器等)により構成されている。

本装置は、シングルチャンネル(1ch)とマルチチャンネル(12ch)方式の2通りの使い方ができる。調査区域全域を1ch方式により10ノットの速力で探査し海底下1秒程度のアナログ記録を得たうえ、深部地質構造を解析するために最も有効と思われる測線を設定して、12ch方式の音波探査を5ノットの速力で実施し、海底下3~4秒の情報をデジタルで収録する。アナログ記録解析で区域全体の地質構造をとらえ、さらにデ

デジタルデータを電算処理（多重反射除去，振幅制御，速度解析，共通反射点重合及びマイグレーション等）して，S/N比を向上させノイズ等に隠された深部の地層断面を得る。

3. 装置の使用上の諸問題とその解決策

a. 空気圧縮部

エアガン用コンプレッサー（WH3-75型）は大容量，高圧縮タイプのもので，エア容量制御用の100ℓスナッパと自動アンローダ機能を備えている。もともと陸上用のものを初めて船舶用に改造したもので，当初はトラブルが相次いだ。自動アンローダ機能とは最終吐出圧力が設定圧（150 kg/cm²）を越すと圧縮動作を停止すると同時に自動的にドレンを排出し，無負荷運転になる機能のことであり，エアガンの作動により130 kg/cm²に圧力が下がると圧縮運転を再開する。エアの実吐出量は吸入状態換算3.5 m³/minで100ℓスナッパに充填する。通常エアガンが15秒間隔で352立方インチのエアを吐出すると，アンローダ運転の繰り返し周期は約5分となり，回数は1日に300回程度，1日当たり約168ℓのドレンを排出する。トラブルの一つは，この乳化した油分を含む多量のドレン処理方法であり，幾通りかの試行を繰り返した。その経緯は次の通りである。艀装時にはドレンの排出管も無く，装置の検査もドレンを部屋中にまきながら実施するという状態で，頭上から霧状のドレンが降って来る有様であった。ドレン管をコンプレッサー室内のビルジ管に継ぎ，海中に放出する案が出たが，海洋汚染防止の観点から無理と判断された。結局コンプレッサー室内に，排出ドレンの圧力を下げ，ドレンとエアを分離するセパレートボックス（0.6×0.5×0.2 m）を作り，圧力の下がったエアは甲板上にもう1個設けた緩衝箱を通して空中に放出し，セパレートボックス内に溜ったドレンはC P P室（プロペラの翼角を油圧で制御する所）下の船底に落とすこととした。

この状態で1年間の使用を余儀なくされたが，1カ月後には甲板上に放出されるエアに混入していた霧状のドレンの油分で，付近の甲板をベトベトに汚す羽目になった。甲板長ほか関係者は甲板上の汚れ防止策を種

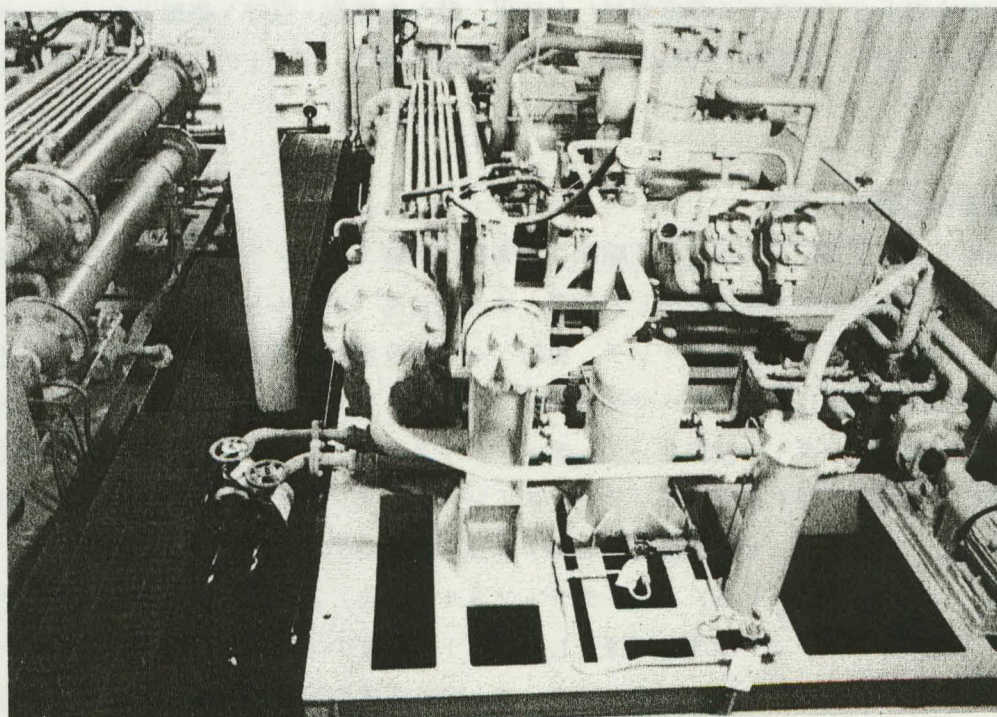


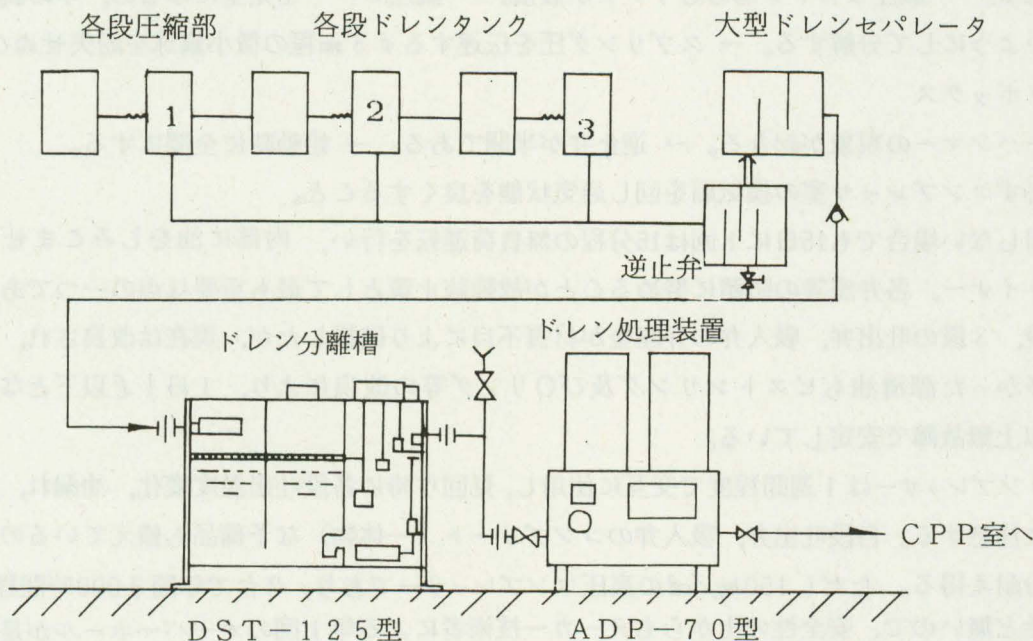
写真1 エアガン用コンプレッサー

種講じたが、効果はなかった。一方、就役当初ピストンリング等のオイル回りの仕様が不具合で1日4～5ℓの潤滑油を消費したため、油分が多く、乳化したドレンがC P P室下にたまり、その上、コンプレッサーのドレン量が増加してくると、ローリングの大きいときにはプロペラシャフトにより巻き上げられ周りに飛び散るので、半年に1回は廃油処理業者によって処理する始末となった。

1年後のドック入りで、甲板上の緩衝箱を取り去り、コンプレッサ室内に新たに大型の緩衝セパレートボックス(1.5×1.0×0.7 m)を設けた。減圧されたエア分は室内に放出するように改造したため、減圧効果は著しく霧状のドレンは殆んどなくなった。しかし、このためC P P室下の船底ドレンが倍増することになり、(40日の行動で約3.0ト)この処理に新たな問題が生じた。

そこで昭和60年6月末に、乳化ドレンを分離処理するための大型ドレン処理装置を設置し、昭和60年5～6月に実施した第6回大陸棚調査で初めてこの装置を使用した。処理後のドレンは、1か月程過ぎるとやや薄い乳白色となり、若干の油分が認められるようになった。ドレン処理装置の仕組みは第1図の通りである。まず、大型セパレートボックスが減圧した1,600 PPMのドレンを分離槽である程度分離し、ここで、浮上油は吸着マットに吸着される。油分の少なくなった800 PPMのドレンを処理槽で、油分をフィルターエレメントに吸着し、5 PPM以下とする。

拓洋のコンプレッサーから出るドレンの実測量は最大約168ℓ/日であり、1ℓ中に0.16%の油分が含まれている。これは1,600 PPMに相当する。ドレン処理装置の性能は300 PPMのドレンを55,000ℓ処理して5 PPM以下におさえる仕様能力なので、分離槽で浮上油を取り去った後の油分が800 PPMとすると処理出来る量は $55,000 \ell \times 300 / 800 = 20,675 \ell$ 程度となる。フィルターエレメントの有効日数はこの値を1日のドレン排出量168ℓで割った値約120日とおもわれた。これは本船が一年間にコンプレッサーを使用する日数にほぼ相当する。しかし、コンプレッサーから排出される乳化したドレンは125ℓの分離槽では期待した程分離せず、コンプレッサー室内湿度が90%以上になることが多いので、ドレン量が増加し、フィルターエレメントの有効寿命はもっと短いと思われた。



第1図 ドレン処理系統図

フィルタエレメントの交換は、かなりの費用がかさむので、船舶管理室運航係長（黒沢官）の助言を得て、日本理化K K研究所よりエマルジョンブレイカーBE-200及びBE-210各試料の提供を受けた。昭和60年7~8月現在、この試料を分離槽に入れテストしたところ、10日間程のコンプレッサー運転であったが乳白色が消え、分離槽内のドレンが清澄になることを確認した。

このように、ドレン処理のトラブルは、就航後2年間試行錯誤を重ねた末、やっと見通しがついて来たが若干の問題点を残している。現在ドレンセパレートボックスがコンプレッサー本体より上部にあるため、出口側の圧力が高くなり排出されたドレンが逆戻りするウォーターハンマー現象が起りやすい。このため、始動時は出力側の圧力が $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 位に上がった時、 10ℓ スナップのドレン弁を手動で開き、セパレートボックスエア抜きから減圧されたエアが出ることを確認してから通常運転をしている。先の第1回大陸棚調査時に1号機3段クーラー管が破損した事故はこのウォーターハンマー現象の極端な例であった。この改善にはコンプレッサーを 1m 程高架とし、セパレートボックスをその下に設置すれば解決されよう。

空気圧縮機の操作・保守上の注意としてマニュアルに記載の一般注意事項の他に、以下の様な事項を経験から得た。

• 冷却水

正常に流れているが、始動時に警報が出る。→ フロースイッチの中に気泡を手で叩いて逃がしてやる。

始動時冷却水が正常に流れない。→ 長期運転停止後起り易い。→ 冷却水ポンプを断続的（2分間ON < 1分間OFF）に作動させて、取水管のエアを除く。→ 油圧ユニット冷却水出口弁の締め忘れがある取水管にエアが入り易いので注意すること。

冷却管から洩水する。→ 管壁にピンホール状の穴があいている。→ 充填用接着剤のデブコンで固めた後、ゴム板で周囲を巻き、管用の大型鉄製バンドで締めつけると良い。

水温測定に利用する。→ 取水口の水温は、表面水温と良く一致するので水温データとして使える。

• プレッシャーレギュレータ（調圧器）

エアが洩れる。→ 調圧ピストン部のOリングが破損。→ 調圧レバーを完全にゆるめ、中の調圧バネが飛び出さないようにして分解する。→ スプリング圧を伝達する $\phi 3\text{mm}$ 程の微小鋼球を紛失せぬこと。

• セパレートボックス

ウォーターハンマーの現象が起きる。→ 逆止弁が半開である。→ 始動時に全開にする。

• 運転中は必ずコンプレッサ室の換気扇を回し通気状態を良くすること。

• 長期間使用しない場合でも15日に1回は15分程の無負荷運転を行い、内部に油をしみこませてピストンリング、ライナー、各弁座等の防錆に努めることが故障防止策として最も重要な点の一つである。

• 当初、1段、3段の吐出弁、吸入弁の弁座金が材質不良により破損したが、現在は改良され、また、異常に消費の多かった潤滑油もピストンリング及びOリング等の改良により、1日 1ℓ 以下となり、連続1,000時間以上無故障で安定している。

• 2台あるコンプレッサーは1週間程度で交互に使用し、見回り時に各段吐出温度変化、油漏れ、油圧、吐出圧や異常に注意する。各段吐出弁、吸入弁のコンプリート（一体物）な予備品も備えているので、長期行動にも十分耐え得る。ただし $150\text{kg}/\text{cm}^2$ の高圧コンプレッサーであり、2台で年間3,000時間程使用し、整備時間も殆ど無いので、安全性の上からもメーカー技術者による年1回のオーバーホールが是非必要である。

b. 発音部

1500 CT PARエアガンは120～140 kg/cm²の圧縮空気(エア)を電磁弁(ソレノイドバルブ)で、瞬間的に吐出(爆発)させ、海中に音波を放出する音源である。海中を曳航する関係上、直接作動状態をモニタすることは不可能に近いので、エアガンの分解・組み立てには細心の注意を要するとともに、操作上、高圧の圧縮空気を使用していることを十分認識して取り扱わないと人身事故を招く恐れがある。

操作・保守にエアガンの構造及び作動原理の理解が不可欠である。第2図を参照されたい。

エアガンの構造

トップハウジング(1)……ガン本体であ

り内側にスリーブ(11)が入りシャトル左部がスムーズに移動できるよう研磨されており、内側はオペレーションチャンバとなる。

メインハウジング(39)……内側にスリーブ(40)が入りシャトル右部がスムーズに移動できるよう研磨され、側面にはエア放出口を開けてある。

ファイアリングチャンバ(34)……放出するエアを溜めておく場所で、エアガンの音波は連続波であるため第一波を強調して第二波以下を減衰する役目をするウェーブシェーブキットを内側に備えており、拓洋には352, 466立方インチの二種がある。

シャトル(41)……一種のピストンのような役目を持ち、重要な部分で保守上最も注意を要する。

リテーナースプリング(26)……シャトル右方移動時に緩衝する役目を持つとともにファイアリングシールOリングとシャトル底面の密閉力を強化している。

ソレノイドバルブ……船上のファイアリングサーキットから、短期パルスの電流で電磁弁を開閉し、オペレーションチャンバとファイアリングチャンバの圧力バランスを変える役目を持つとともにトランスデューサを備え、発音時の時間信号を船上の受信部に伝える。この信号は通常、船上からのトリガー指令で電磁弁が作動し、ガンが発音するまで20ms程度のタイムラグがあるので、ガンの発音時間とMT収録のスタートを合わせるためのタイムブレイク信号となる。

フィン・アッセンブリ(18)……曳航するエアガン本体の姿勢を制御するとともに信号ケーブルやエアホースを固定している。

エアガンの作動原理

・コンプレッサからのエアが調圧器、エアホースを経由してインレットヒッチング(8)からトップハウジング(1)内のオペレーティングチャンバ(OC)に送り込まれる。このあと、エアはOCからシャトル腔(12)を通じて、ファイアリングチャンバ(34)に充填される。送り込まれたエアの圧力によりシャトル(41)は右方に移動す

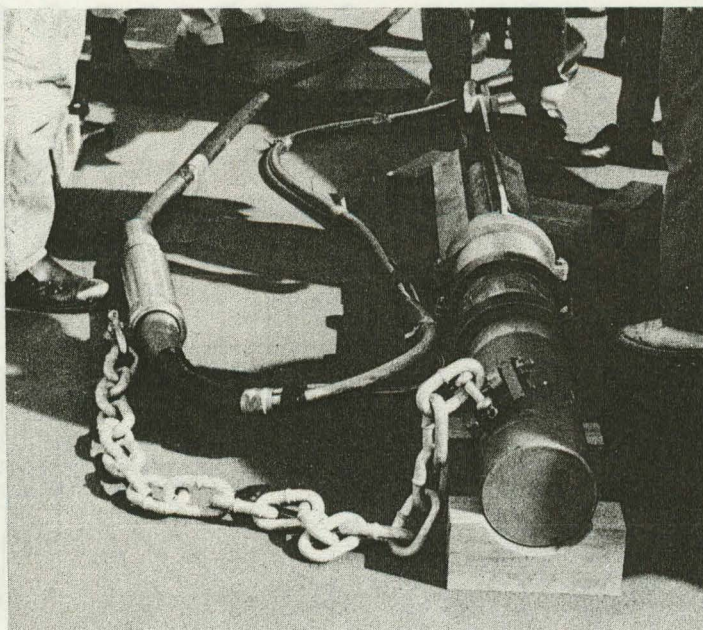
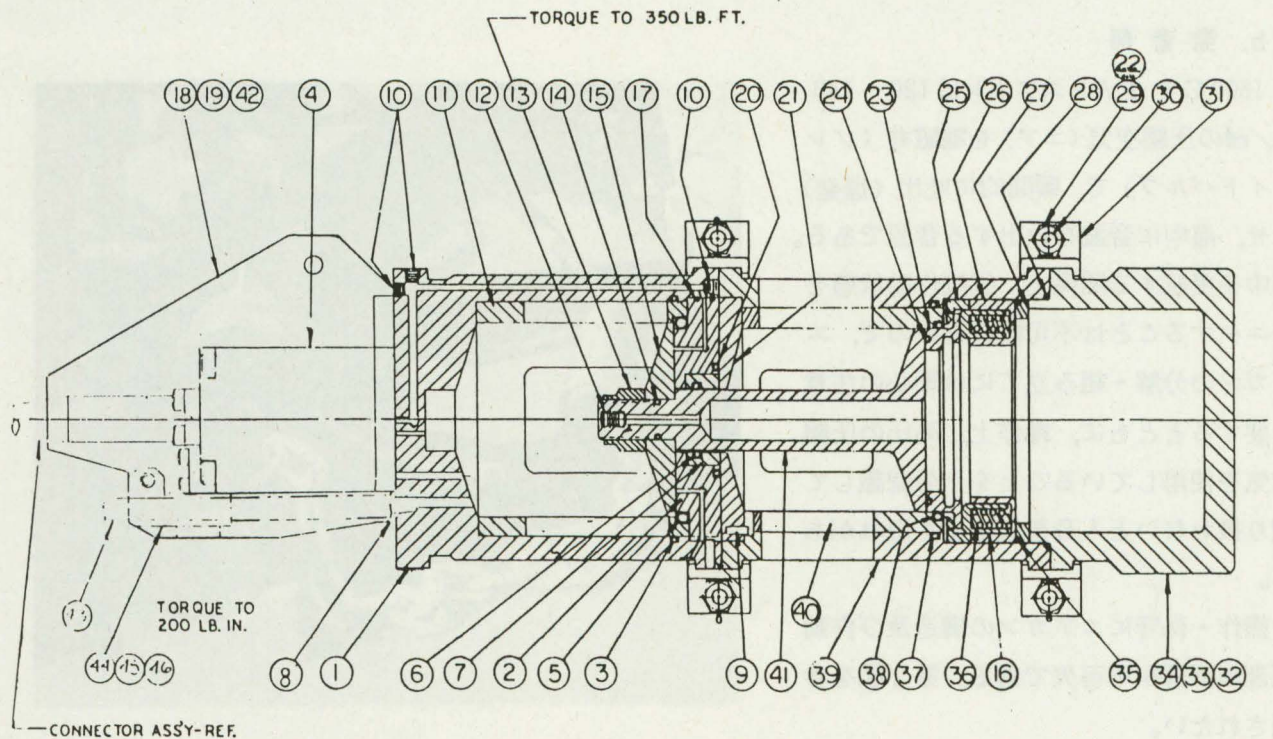


写真2 エアガンと曳航ケーブル



- | | | |
|----------------|----------------|----------------|
| ① トップハウジング | ⑪ トップハウジングスリーブ | ⑳ リテーナースプリング |
| ② シャトルシールリテーナー | ⑫ シャトルフランジ | ㉑ ファイアリングチャンバ |
| ④ ソレノイド | ⑬ フィンアッセンブリ | ㉒ Oリング |
| ⑤ Oリング | ⑭ シャフトOリング | ㉓ メインハウジング |
| ⑥ シャフトOリング | ⑮ HSG | ㉔ メインハウジングスリーブ |
| ⑦ シャフトOリング | ⑯ Oリング | ㉕ シャトル |
| ⑧ インレットヒッチング | ㉖ グランド | |

第2図 1500 C Tエアガン本体構造図

る。この時エアの圧力が弱いと、シャトル腔(12)からエアが逃げて閉まらないことがある。(24), (38), (5)のOリングによりエア漏れを防いでいる。OCと(34)内の圧力が同圧になると、圧力のかかる面積はシャトルフランジ(12)の表面積の方がシャトル底(ファイアリングチャンバ側)の表面積より大きいため、シャトルは第2図の状態に保たれる。ここでソレノイド(4)にショートパルスの電流を流すとソレノイドバルブが開き、OC内からのエアがトップハウジング側壁口管(図斜線内のL型空白部)及びシャトルシールリテーナー(2)内の管を経て入り、フランジ(12)の下面に圧力が加わる。(シャフトのOリング(6), (20)がエア漏れを防ぐ役目をしている。)この瞬間、この部分に加わる圧力とシャトル底面の合成圧がフランジ表面の圧力より大きくなり、シャトルは左方に移動するため、ファイアリングチャンバ内のエアが瞬間に放出され強力な音源となる。エアが放出された瞬間的にオペレーティングチャンバ内の圧力がシャトルを右方に押し、シャトル底面がファイアリングOリング面に接し、ファイアリングチャンバを密閉するので海水はチャンバ内に入らない訳である。同時にシャトル底面にかかっていたエアは、トップシールリテーナー(2)内の抜け口より放出され無圧状態となり、シャトルは第2図の状態を保ち次のファイアリングを待つ。

次に、エアガンに発生したトラブルについて搭載時から現在まで追ってみよう。

使用開始後40日程で、トップハウジングとフィンとの間のクランプが外れ、信号ケーブルも損傷する故障

が発生した。これは両者間の回転を防止するためのトップハウジング側の2本のダウエルピン（止め金具）が変形屈曲し、そのピンが結合するフィン側のピン孔も、また変形拡大していたためであった（写真3）。ボルト社がトップハウジング及びフィンの無償交換、改造するのに3か月程必要としたので、昭和59年度最初の大陸棚調査では設楽製作所の協力を得て応急的にガン曳航金具を作り使用した（写真4）。この金具はフィンが使用不能となったため第3図の曳航方式がとれず全く逆にトップハウジング側から直接曳航する方式でトップハウジングの吊り下げ用のネジ穴を利用し、曳航金具を取り付け、これにエアホース、信号ケーブルを固定する器具を付けてエアホース、信号ケーブルには直接テンションがかからないような仕様にしたものである。前述のような故障を考慮しステンレス製で頑丈に作った物だけに重く、組み立てに30分も要し、エアホース、ケーブルと曳航ワイヤー、取り込み用のロープの間に余裕がないため、それぞれの摩擦によってエアホースやケーブルを損傷する恐れがあったが、1か月程使用した。部分的に改良すれば長期間の使用にも耐え得ると考えられる。

昭和59年6月にボルト社から改良のトップハウジング及びフィンが届いた。ダウエルピンとピンホールの強度不足が原因であったので、この部分をKEYと呼称するサイコロ状の特殊鋼（ $2 \times 2 \times 1$ cm）をトップハウジングとフィン側の同形の切り込みに差し込んで固定し、かつ、トップハウジングとフィンをかん合する改造となった。

この改造の結果、トップハウジングとフィン及びクランプリング間の接合強度は増したが、今度はインレットヒッティング（エア入り口コネクタ）のネジ穴が変形を起こし、

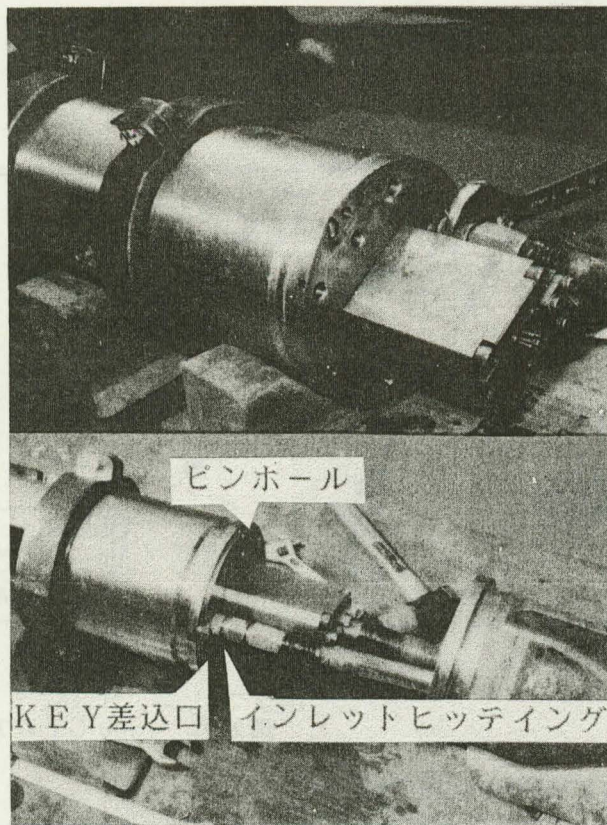


写真3 エアガン・フィン接合部

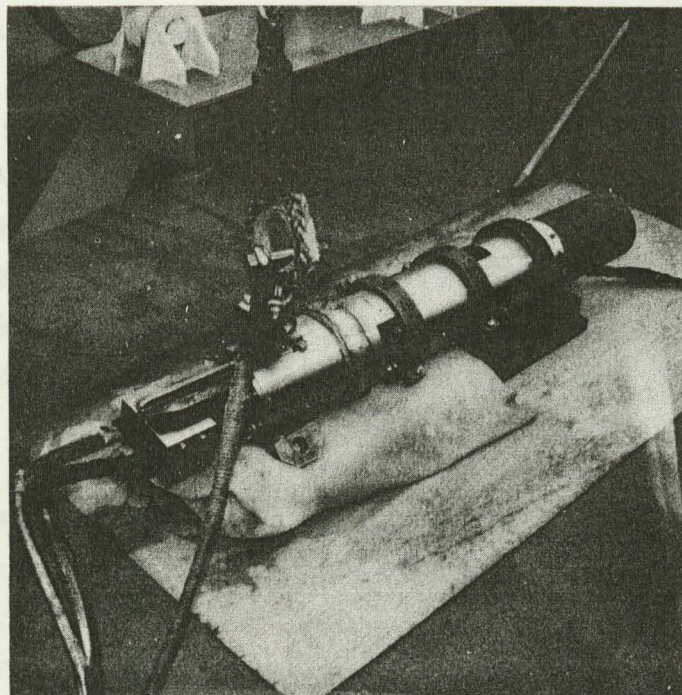
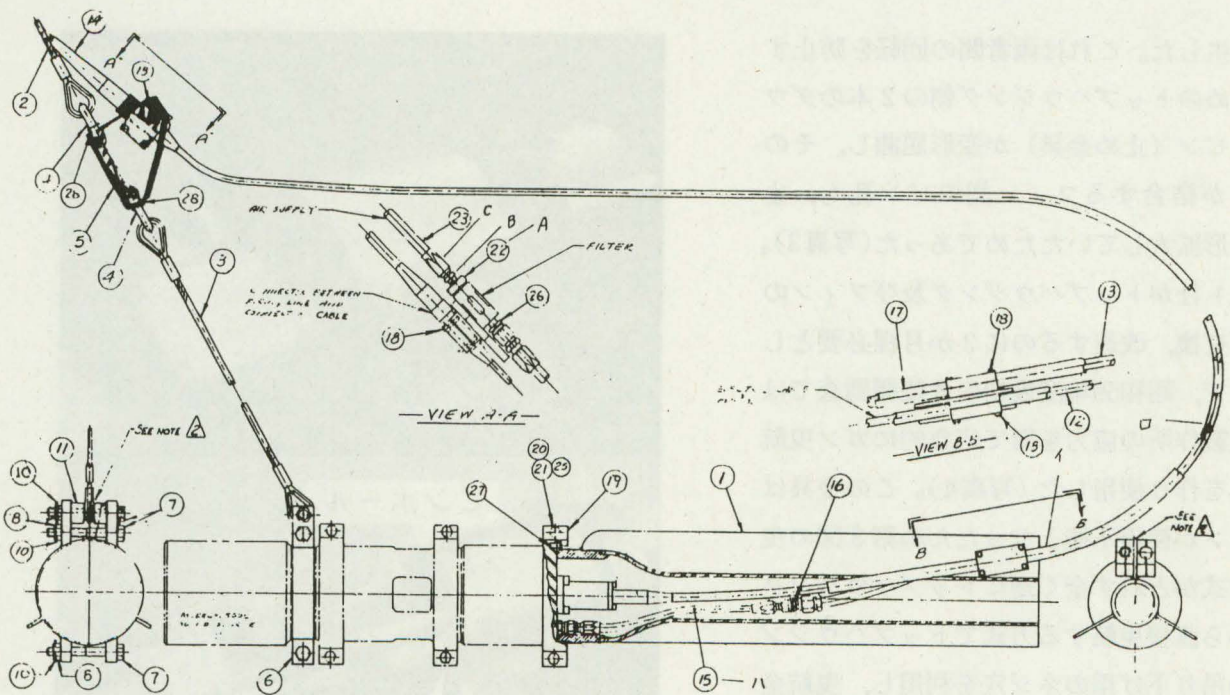


写真4 改造エアガン（左側が改造部）



第3図 1500 CTエアガン構成図

そこからエア漏れの現象が出て来た。

これはKEY切り込みとインレットヒッティングネジ穴との間が1.5 mmしかなく、エアガンの衝撃がKEY Yに伝わりこの力によって生じたものである。応急的に、インレットヒッティングに銅パッキングをつけて使用したが、長期間は保たなかった。またインレットヒッティングから5cm程突き出して取り付けられるエアホースコネクタ部がフィン内部と接触するためにフィンとトップハウジングとが、このままではかん合出来ず、フィン内部のKEY差し込み部を5mm程削っていたので、昭和60年1月にはフィンのこの部分が、ひび割れに次いで欠損してしまい使用不能となった。

昭和59年度末にインレットヒッティングネジ穴をトップハウジング上面の90°ずらした位置に開ける仕様とした改良トップハウジング及びフィンをボルト社から購入した。昭和60年4月の機器テストでこれを組み立て、船上でエアを入れたところトリガーとは無関係に連続的に発音してしまい、幸い低圧で事故には至らなかった。原因を調べてみるとトップハウジング上部の電磁弁抑止腔（第2図の下から二番目の腔）と出口腔（L型の腔）が繋がっているという全く信じられない構造になっており、製品テストもせずに安全性を無視して、180万円もするエアガンを納入して来た。ボルト社に嚴重抗議し、至急新品を送付させ、これを使用しているが現在のところ良好である。

筆者は、1500 CTエアガンに発生した故障の80%程度は、上記のトップハウジングとフィン間の接合不良に起因していると考える。これにより、トップハウジング及びメインハウジング内のスリーブが片減りを起こしてシャトルとの間にガタが生じ、シールシャフトOリング（6, 7）のはみ出しや切断が多発してエアガンが止まる原因となった。しかし、トップハウジングとフィンが正常であれば、5万ショット発音してもスリーブは片減りせず、エア漏れやシャトルの作動不良等エアガン自体の故障は殆ど発生していない。

今後の対策の一つとして、トップハウジング、フィン間のクランプリングは、長く使用すると接合部の山がすり減るため、内径の違ったものを何種類か備えていて、常にクランプリングとの接合面をフィットさせて、接合不良の引き金になる遊びが出来ないようにするべきである。

その他エアガンの操作・保守上の注意を列挙すると、

- フィンと信号ケーブルの固定金具のネジ（第3図の18）が曳航中にゆるみ、脱落する事故が続き、固定金具を更にインシュロックで固縛する等の処置をしていたが、この原因は、エアホース側のネジがゆるまないことから、エアホースは内部エア圧で膨張するため、金具全体を外に押す力が働いてネジの摩擦力が強くなっていると推察し、信号ケーブルの固定部分にも同様の力が加わるように弾性の強いウレタン樹脂で固定金具内径よりやや大きめに付着して固定するように改良するとともに、ネジ止めの際、固定金具をフィンに密着固定させるように、4本のネジに均等な力が加わるよう配慮してからこのネジの脱落はなくなった。

- クランプリングのネジ止め用割ピンの処置は、突起部分をなくしてから、ビニールテープで保護する。また、曳航部分のシャックル止めの方向はケーブルの反対側、もしくは内側になるように注意し曳航ケーブル、エアホースが接触しても傷つかないように配慮すること。

- ソレノイドバルブの信号ケーブルコネクタピンはバルブ上面より突出しているので甲板上を運搬するときは支柱等に接触しないよう十分配慮すること（今まで2回折損）、又はソレノイドバルブを取り外して運搬すること。

- ガン組み立て時にトップハウジングスリーブ(40)とグラウンド(25)の間に挿入するOリング(38)を、形状が相似しているため、HSG(23)とグラウンドの間に入れてしまうことがあるので注意を要する。

c. エアガン曳航ケーブル

重さ190kgのエアガンを曳航するとともにエア及びトリガー信号を供給するためのケーブルである。拓洋は現在、日本大洋海底電線社製の特注ケーブル2組と、ボルト社製オリジナル1組を保有している。

特注ケーブルの経緯をみると本船建造時の昭和57年頃、昭洋で使用されていた1900CTエアガン用のボルト社製曳航ケーブルは信号ケーブルの断線やホースのエア漏れが続発しており、形状的にも曳航操作や保守に不便な面が多かった。この苦い経験から、1900CTより大型の1500CTエアガンに適應する曳航ケーブルの開発が必須となり、日本大洋海底電線社に発注された。製作されたエアガン曳航ケーブルの形状は、写真4のように、船上から水中分岐部間のケーブルの断面は第4図に示す通り、内部に信号ケーブルとエアホースを封入し、外側は張力を持たせるためにケブラ繊維を二重に編んだ一体構造になっている。これに対して、張力の余りかからない水中分岐部からエアガン間はエアホースと信号ケーブルが個別に分岐している。就役直後の機器テストで初めて使用したところ、数時間で信号ケーブルが断線した。帰港後のメーカーによる断線診断（信号を入力して時間差を測定する方法やX線診断がある）で断線箇所は水中分岐部内と分岐部からガン側15cmと判明した。ガンの衝撃波や曳航抵抗でこの部分が連続して屈曲することが推定され、第1回の大規模調査に間に合うよう早急に補償改造を指示した。

改造点としては水中分岐部内に屈曲・伸縮力が伝わらないように、分岐部からガン側50cmは電話の受話器コードのようなカーリング仕様とし、分岐部内はウレタン樹脂で水密を保つとともにガン側の外側30cm程をウレタン樹脂でテーパ状に固定させ屈曲力を緩衝させるようにした。この改造ケーブルを第1回大規模調査で使用した結果1週間程度で2組とも断線した。断線箇所は第3図のイ、ロ、ハの部分であった。この部分を船上、及び沖縄入港時に応急修理したが、やはり10数時間で断線した。余談であるがこの時使用した水密粘着テープ（SAテープ米国製）は圧力がかかるほど水密粘着を増す性質のもので、WESTPACのCTD用アーマードケーブルのキック時の修理に応用した結果、水深4500mまで良好であり、他の海中機器の修理の必須常備品である。

後半の調査では応急用に準備しておいたピアノ線入りの信号ケーブルを曳航ケーブルに添わせて使用した

結果、断線故障は起きなかった。原仕様のケーブルは手動で屈曲回転させると数十回で銅線がキンク状となり断線することが判明した。このようなことから昭和58年度末にこれまでのノウハウを基にした新曳航ケーブル2組を補償で再製作した。改良点としては次のようなものである。

<No.1ケーブル>(イ)信号ケーブルはピアノ線入りのものとし、張力を強化する。(ロ)水中分岐部から船上側の張力が直接かかる曳航部は、エアホースの上に第4図の断面のように、八本のピアノ線入り電線を緩いカーリング状に巻き、その外側にケブラ繊維で相互逆巻きになる二重編み構造とする。(ハ)水中分岐部からガン側50cmは、カーリング仕様とし外側に保護ビニール管で覆い、且つビニール管の動きが水中分岐部内に伝わらないようウレタン樹脂と分離する。(ニ)水中分岐部、船上分岐部のステンレス製の部分の肉厚を薄くして軽量にする。(ホ)水中分岐部からガン側の信号ケーブル及びエアホースは張力が余りかからないので外側をシンプルにし、水中抵抗を減らして振れが一定になるよう考慮する。

<No.2ケーブル>(イ)水中分岐部よりガン側に更に分岐部を設け、フィン内及びその付近で起きた断線故障にはケーブルを簡単に取り替えられる仕様とする。

この新曳航ケーブル(No.1)は以前のものとは比べると軽くなり、昭和60年の第6回大陸棚調査にかけて延べ120日間使用された。その間、前述したエアガンクランプリング脱落によるコネクタ部の損傷を始め、時化やエアガンの回転運動によってエアホースがガン本体と接触、擦傷して、エア漏れを生じる等の故障が起きたが、船上での修理が可能だった。昭和60年6月に発生した曳航ケーブルの断線は水中分岐部の付け根付近(写真6)でテンションメンバーのケブラ繊維が50cmの長さで損傷しており、最もダメージを受けた根元の部分が切れ、信号ケーブルが断線した。後日のメーカーによる断線原因調査の結果は、断線部分の内部シースとケブラ繊維内に生ずる摩擦によりケブラ繊維が屈曲疲労し切断したものとほぼ断定され(ケブラ繊維は非常に軽く抗張力性は鋼と同等の強さがあるが摩擦熱に弱いのが欠点)、この部分の修理は不能となった。

強力曳航ケーブルの開発

これまでのトラブルやその対応について、昭和60年11月を目途とし以下の仕様について検討を進めている。(イ)曳航ケーブルは250日(2年間)以上の耐久性を持たせる。(ロ)曳航ケーブルには瞬間的に2トン程度の張力がかかることが判明したのでケブラ繊維の強度をこれに耐える仕様とする(2トン=ピアノ線強度250kg×8本が切断面から算定)。(ハ)最も屈曲運動の多い水中分岐部から船上側1mの部分ゴム製の緩衝物で密着

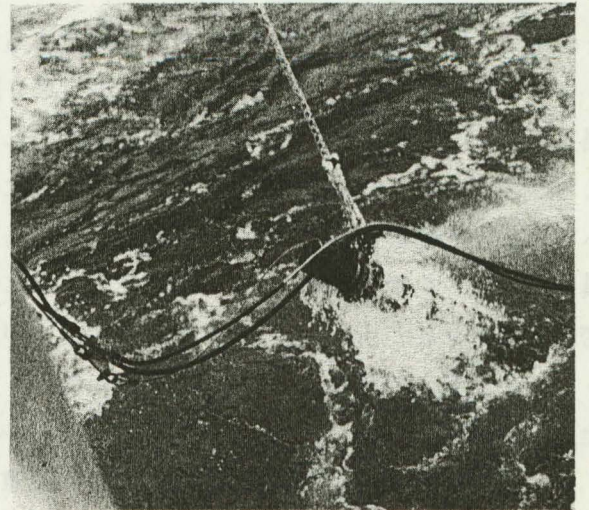
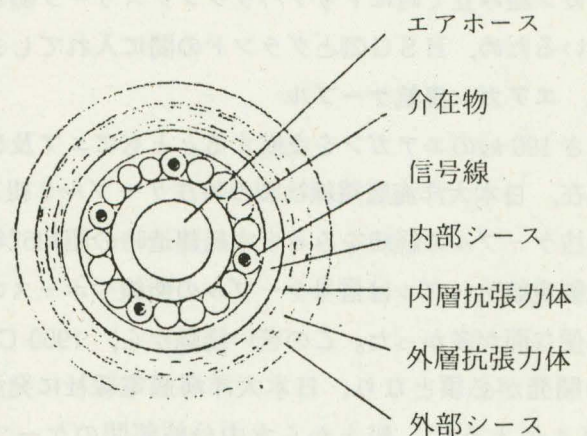


写真5 エアガン海中投入 ケーブルはボルト社製



第4図 エアガン曳航ケーブル(日海製)断面図

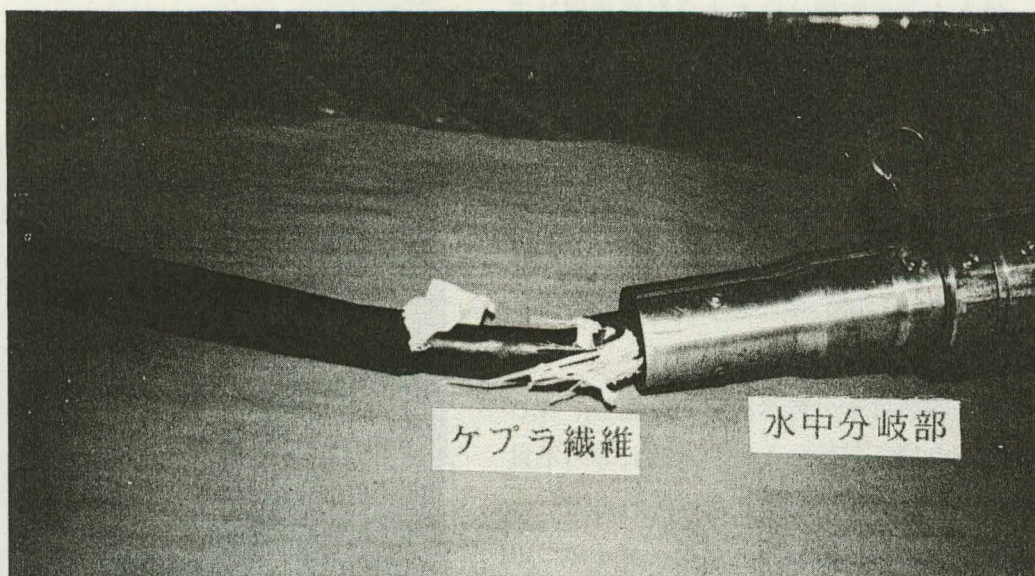


写真6 エアガン曳航ケーブルの損傷

保護し、屈曲を分散させるとともに内部シース等の介在物はなるべく摩擦力が少なくなる様にする。(二)水中分岐部、船上分岐部のステンレス製金具は、強度は十分と判断されるので肉厚は出来るだけ薄くし、軽量にする。(三)今までの仕様でも単一的な張力には十分耐え得るので水中分岐部より船上側のケーブル本体径を2.5mm細くして軽量化し柔軟性を持たせる。(四)水中分岐部内をコネクタタイプとし船上で交換修理を可能とする。

第1回大陸棚調査の特注ケーブルのトラブル発生時に至急購入したボルト社製曳航ケーブルは、現在まで延べ50日ほど使用実績があり、エアホースやコネクタ損傷等があったが致命的な故障は発生していない。長所としては、軽量なこと、部分品ごとの交換修理が可能なこと。短所として、エアホース、信号ケーブルに直接張力がかからないようワイヤーにたるみを持たせ固縛する処置等、常時点検保守が必要なこと、フィン内でエアホースが径の細いものと連結しているためガンの衝撃で生ずる振動でこのコネクタとフィン内部が連打し、緩み、折損によるエア漏れが多発すること等が挙げられる。

エアホース損傷時の補修法

エアホースの損傷部を切断し、コネクタを取りつけてジョイントネジで連結することで補修できる。コネクタ外側とエアホースは逆ネジになっているので注意を要する。エアホース外被は内部を傷つけないように剥いて差し込むこと。高価なボルト社製コネクタは一度取りつくと取り外せないものとされていたが第2図参照、コネクタ基部Cを万力等で押さえておき、ジョイントネジAとコネクタ雌ネジBの部分をそれぞれスパナで締めつけながら両方をA、Bの逆ネジ方向にゆっくり回すと取り外しが可能である。

d. 曳航受波部

曳航受波部はマルチチャンネル用とシングルチャンネル用に分かれている。マルチチャンネル受波部は12CH(1CHの長さ50m)のアクティブセクション(600m)と緩衝用のストレッチセクション(150m)から成り、付属として一定の深度(通常15m)を保つためのコンデップや、標識用のテールブイ及び専用ケーブル巻取機がある。船尾からテールブイまで約900mの長さがあり、4~5ノットで曳航し、海底層からの反射波を12のチャンネルで多重に受信する。展開図やノイズ軽減装置については、水路部技報第3号に報告している。現在まで230時間程使用したが、大陸棚調査時にサメによる傷でNo.1CH(最後尾)セクションにケロシン漏れが生じ、予備セクションと交換したほか故障は起きていない。ハイドロストリーマはAMG社

製であるが、ほとんどの修理は日本大洋海底電線社で修理可能である。

操作上の注意としてコンデッパ支持具は、並行になるよう取りつけること、コンデッパに入れる翼角制御用のエアは、調査ごとに記録しておき、ストリーマ全体が一定の深度を保つように努めること。ジャンパーケーブルの抜き差しには細心の注意を払い、コネクタピンを折らないようにすること（修理不能）。

ストリーマの揚収時は十分に水洗いを実施し、ねじれないよう気を配り接合部等にケロシン漏れ等の不具合がないかどうか点検すること等が挙げられる。

シングルチャンネル用のストリーマケーブルについては十数年来実施されており、操作、保守上のノウハウは把握されているので省略する。

しかし、追波時のノイズについては、現在まで何ら解決をみていないので、これまで分かったことを簡単に記しておく。

第5図は、昭和60年4月の機器テストに於けるアナログ記録である。この様に、海上模様が風速6 mを超える（白波が立つ）状態で追波になると海底からの反射波に重なって、走行ノイズとは異質のノイズが発生するが、向波の時は発生していない。追波時のノイズは第5図でも見られるように船速4～5ノットでは出る割合が少なく、5ノットを超えると急激に増加し9～10ノットで最大になる。更に船速を増し12ノット程になると、若干減少する傾向が見られる。このノイズの主要周波数を帯域フィルタを変化させて調べたところ30～40Hzである。エアガン反射波の主要周波数帯と重複するため、受信部のフィルタでカットすることは不可能なので、何度か受波部側でノイズの発生防止策を試行してみた。追波ノイズの原因は、追波時は波の進行速度が船速より速く、波に揺られて、ストリーマ全体がゆるんで蛇行し伸縮を繰り返すため、ストリーマ内部で50個の受波素子群が移動することにより発生するのではないかと考えた。

防止策としてストリーマを沈めるため、ストリーマケーブルに厚さ3 mm、長さ20 cmの鉛を抵抗が少なくなるよう、ケーブル径（径15 mm）に合わせて30 cm間隔に10枚巻きつけたり、ストリーマ尾部にシーアンカー効果を狙い径15 mmのダブルロープを取りつけてデータを記録したが、状況は好転せず逆効果になることが多く、今のところ有効策はない。逆効果になったのは、鉛板やロープを取りつけたことにより、振動等の作用があったのだろう。この追波ノイズの除去は、音波探査調査に於ける今後の最重要課題であり、早急に発生メカニズムを解明し有効策を見いだしたい。ストリーマを改良するとともにデータのデジタル化を図り、ソフトウェア処理による除去を検討する必要がある。

e. 受信部

受信部は第6図のような構成から成り、12CH方式の場合は受波器で捉えられた信号は、ひずみのない録音が出来ると広いダイナミックレンジを持つDFS-V地震探鉱機でIFP (Instantaneous Floating Point) 方式でゲインコントロール（最大132 db）し、サンプリングレート2 msで9トラックの磁気テープにSEGBフォーマット、1600 BPIの密度でデジタル収録する。同時にREAD-AFTER-WRITE方式でD/A変換されビジュグラフでモニタすると共に、LSR 1811レコーダーにNEAR TRACEのアナログ記録を

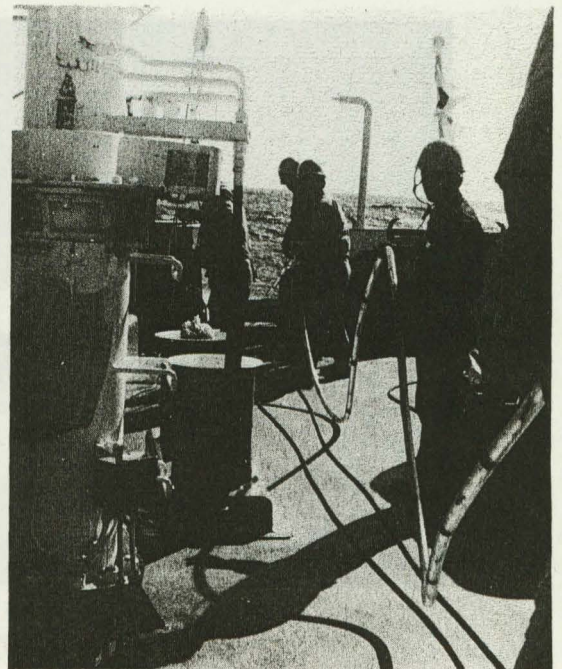
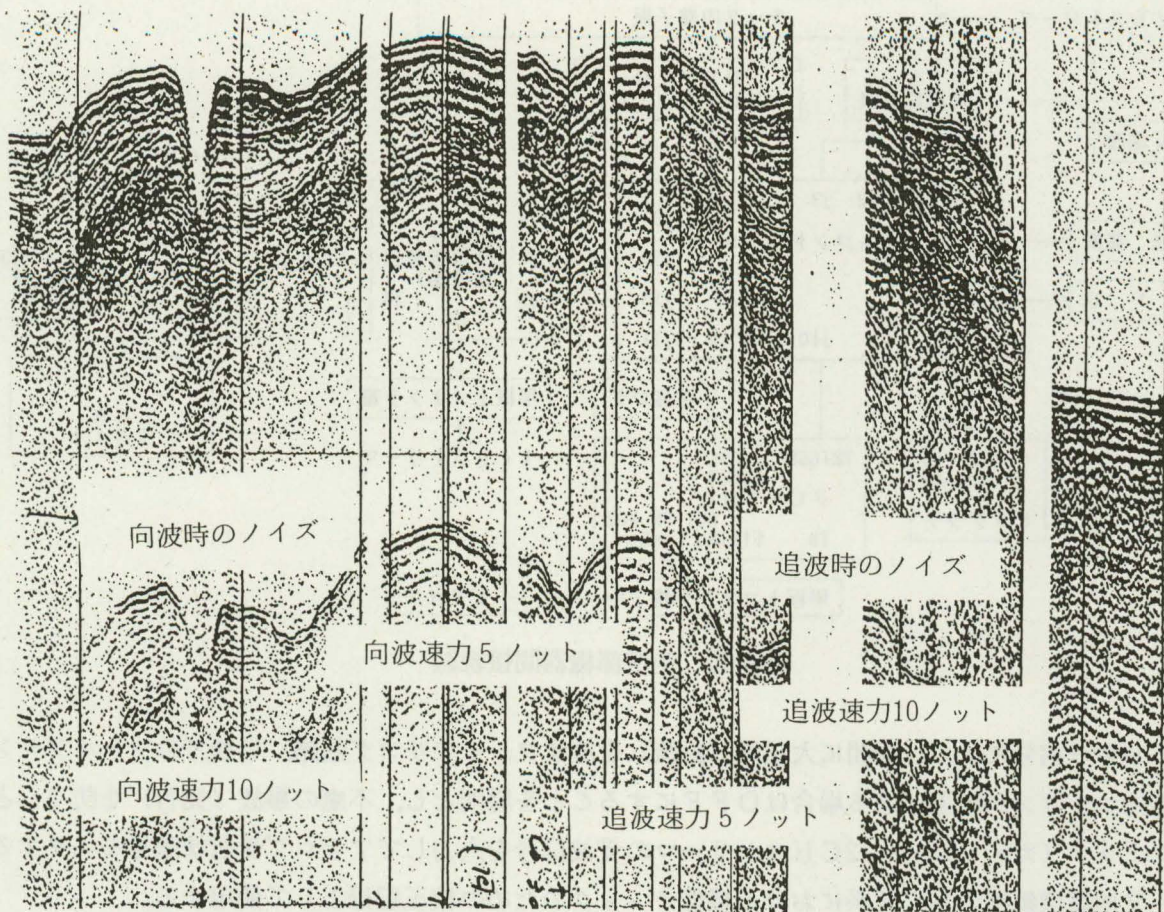


写真7 シングルチャンネルストリーマ投入



第5図 音波探査記録(昭和60年4月 機器テスト) 風速SE/12 m)

画かせている。1CH方式の場合は、信号は300LFアンプ(テレデザイン社製)で帯域フィルタを通し、AGC方式かFIXED方式を選択する。海底層の音響的な特徴が捉え易いこと等から、FIXED方式でゲインコントロールを実施している。

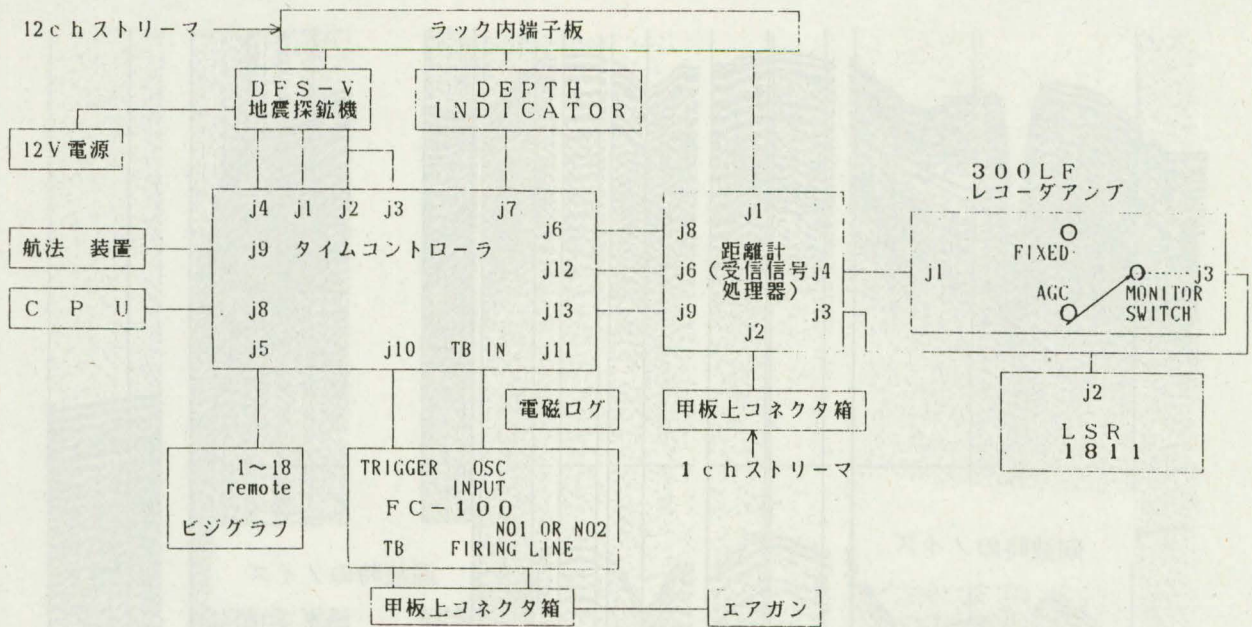
各部の機能は次の通りである。

タイムコントローラ……DFS-V、地震探鉱機、複合測位装置、サーキットブレーカ、FC-100、受信信号処理器及び記録器等と結合し、システムのタイミングを制御する。ショット間隔、トリガーディレイ、ビジュグラフ出力間隔、レコードディレイ、タイムブレイク間隔を設定指令し、システム全体を制御するとともに、これらの情報をヘッダ情報として複合測位CPUに転送する。受信部としては最も故障が発生しやすい箇所であるが、スイッチの切り替えのタイミングによって誤動作することも多いので、各指令スイッチの機能と相互の関連について正しく理解することが肝要である。

距離計(受信信号処理器)……12CHストリーマ間の2箇所に設置してあるセンサーからガンの直接波を受信し増幅、パルス化して発音指令との時間を計測表示、ストリーマの伸縮の点検に使用する他、12CHのアナログ記録上でのサミング(重合)機能を持つ。

深度表示器……12CHストリーマの間の2箇所に設けられた、水圧センサーからの値を表示。抵抗の劣加により微妙に深度が変化するので、年に1回程度は長さを計ったロープで水圧センサー部に錘を付けて降ろし、実測して校正する必要がある。

サーキットブレーカー(FC-100)……エアガンの電磁弁を作動させるために、タイムコントローラか



第6図 受信部機器間接続図

らのトリガー信号により、瞬間に大電流（直流）を流すファイアリング回路、単独でのファイアリング遅延機能も持つ。ガンが船上にある場合はOFFにすることを原則とし、不慮の事故（発音）を防ぐこと。

ビジグラフ（カメラ）……12CHストリーマの受波信号を入力してアナログ受信状態をモニタする他、DFS-V地震探鉱機の各CH系における機能チェックのための校正記録として使用する。

300LFアンプ……LSR-1811レコーダにアナログ記録するためのアンプで12CH、シングルCH方式共有使用、HI-L Oの帯域フィルタ、最大120dbの固定（FIXED）及びAGC方式の高性能増幅機能を有する。

LSR1811レコーダ……レイセオン社製のポピュラーな記録器で、プログラム操作他、多種にわたる制御機能や、高分解能を持つ連続作動実績のある耐久性の高いものであるが、2年に1回位のメーカーによる点検調整が望ましい。

DFS-V地震探鉱機……石油探査等にも使用されている最も高精度のデジタル収録装置で、60CHまで増設可能。資源探査を除く海洋調査用としては、日本で初めて水路部に導入された。操作及び保守上最も専門的知識を要し、特に保守、調整面では、弱電及びコンピュータの知識を基にした長期にわたる経験と研修が必要である。DFS-V地震探鉱機は、アナログ、コントロール、テープトランスポートの3つのモジュールから構成され、アナログモジュールは、受波器からのアナログ信号を受信し、デジタル化するA/D変換器としての主な機能を持つ他、サンプリングデータをマルチプレックス形式（表）にするための基準となるタイムブレイク信号や、各CHのゲインの設定値やアナログデータをフィルタリングした数値のコード化等の補助機能がある。またストリーマの絶縁抵抗等を直接テストするため、テスターや各部のキャリブレーション用の7種の発信部を備えている。

コントローラモジュールは、アナログモジュール、テープトランスポートの制御、デマルチプレックス形式（表）への変換、AUX情報（ヘッダ情報）の供給、テープ再生やカメラの制御、及びテープ収録のタイミングを制御する機能を持つ。テープトランスポートは2台装備され、自動で切り替わり、IBMコード、1600BPI PHASE ENCODE記録方式で、通常は2msのサンプリングレートで6s間（1ショット=3,000ポイント

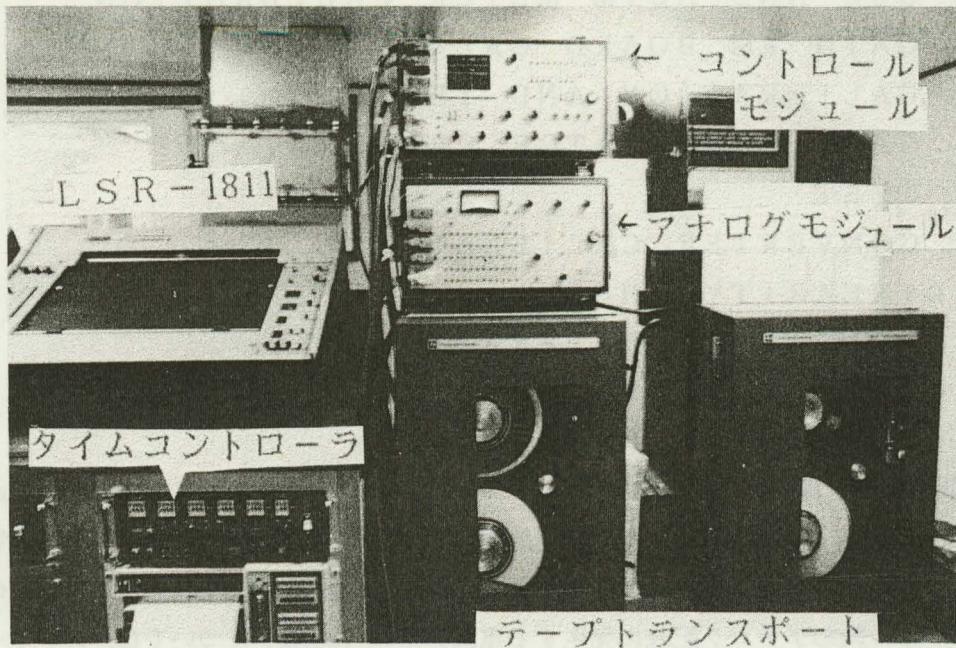


写真8 DFS-V地震探鉱機

の容量87Kバイト)収録する。

MULTIPLEX FORMAT 1SCAN=1POINT

| Aux | Data | Gain | Data | Gain | Data | Gain |
|------|-------|------|-------|------|--------|------|
| Data | 1~4ch | 4ch | 5~8ch | 4ch | 9~12ch | 4ch |

DEMULTIPLEX FORMAT

| ch 1 | Data (1~3,000Point) | Gain (1~3,000) | ch 2 Data |
|------|---------------------|----------------|-----------|
|------|---------------------|----------------|-----------|

DFS-V地震探鉱機はデジタル収録であり、厳密な収録状況をモニタすることが出来ないので動作点検のために3つのテスト方法が確立されている。DAILY TEST, WEEKLY TEST, MONTHLY TESTと分割されているが、本船では調査回数が少ないため、調査前にDAILY TEST, WEEKLY TESTを実施し、IBMコンピュータを必要とするMONTHLY TESTは年1回専門家による調整点検時に実施している。動作点検内容については別の機会に譲るとし、今回は項目のみを掲げておく。

DAILY TEST

- DYNAMIC RANGE CHECK
- PULSE TEST CHECK
- EXP. IFP+AGC TEST
- EQUIVALENT INPUT NOISE

WEEKLY TEST

- CHECK D. C OFFSET CALIBRATION

- CHECK OSC AND ACVM METER CALIBRATION
- CHECK GAIN FM BOARD CALIBRATION
- NOTCH CALIBRATION AND TEST
- CHECK GAIN COMPARATOR CALIBRATION

MONTHLY TEST

- CHECK CONVERTER CALIBRATION
- GAIN LINEARITY CHECK
- READ AMPLITUDE CALIBRATION
- READ SKEW CALIBRATION
- WRITE SKEW CALIBRATION

DFS-V地震探鉱機は就役時コントローラモジュール、パワーサプライのファン故障の過熱から、保護回路の異常やトランスポートのメカニカルな初期故障があったが、現在は最低年1回の専門家による調整点検を実施しており、最良の状態で作動している。また、外注による資料整理の結果も良好とのことである。

シングルチャンネル時のアナログ記録に発生する電源ノイズ(60Hz)については、ストリーマケーブルの船上コネクタ部等で船内アース等を工夫してみたが効果は認められず、沿岸調査課所有のノッチフィルタを使用したところ、ノイズがかなり減衰し、鮮明な記録が得られることがわかった(昭和60年6月KDD受託作業時)ので、早急に専用のノッチフィルタを取りつける必要がある。又、シングルチャンネルのデータは、アナログ記録のみに頼っている現状であり、質的に今以上のものを望むにはデータのデジタル化が必要と考えられる。第5回大陸棚調査時に受信ラインを改造してシングルチャンネルの信号をDFS-Vに入力し、デジタル収録を試行した結果、再生のアナログ記録もS/N比が向上し、デジタル収録状況も良好であったがDFS-Vの基本設計上、収録フォーマットが12CH収録方式になっているため、11CH分を無駄に収録し多量の磁気テープを必要とする欠点がある。メーカー(T. I. 社)に内部基盤の交換等の手段で1CH専用で収録可能か、問い合わせしてみたが技術的には可能であるが特注のため高額が予想され、現状では無理なようである。

シングルチャンネルデジタルデータの処理としてはAAC(Automatic Amplitude Control)法やTAR(True Amplitude Recovery)法による振幅補正、スタッキングによるS/N比の向上、ウェーブレット処理による分解能の向上、デコンボリューションによる多重反射除去等が紹介されている。これらのデータ処理のソフトウェアの開発については、水路部は他分野に比べて遅れていると考えられるので、早急に、シングルチャンネル用のデジタル収録機を導入し、そのデータ処理ソフトウェアを開発していくべきものと考えられる。

4. おわりに

拓洋の深海用音波探査装置の現状とトラブル対策について機器導入後、これらを正常な軌道に乗せるまでの実務担当者による生の記録を一観測ノートーというかたちで紹介してみた。現在の拓洋のように10ノットの速力でエアガン等を長期間連続で曳航しながら海洋調査をしている例は世界でも殆ど例がないと聞いている。筆者らもこの2年間に数々のデータを取得したが、一方観測用機器類の様々なトラブルに直面し、試行錯誤を重ねながら体得したノウハウは貴重なものであり、後任者に引継がなければならない。より精度の良いデータの取得のための疑義や改良点を拓洋まで提言頂きたい。

最後にコンプレッサの保守面，ドレン対策及びエアガンの改造等に助言協力頂いた設楽製作所 渡辺幸雄氏，エアガン曳航ケーブル・ストリーマケーブルのトラブル対策における応急処置法等の助言を頂いた日本大洋海底電線社 加藤和威氏，DFS-V地震探鉱機及び12CHストリーマの展開等について，指導して頂いた地球科学研究所 渡辺勉氏，技報に掲載するにあたり，有益な助言を頂いた桜井操観測長，及び本装置の数々のトラブルに対応して頂いた拓洋乗組員の方々ならびに水路部関係諸氏に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

1500 CT AIR GUN INSTRUCTION MANUAL

DFS V SYSTEM OPERATING INSTRUCTIONS

今井豊 他2名：シングルチャンネル音波探査記録のデコンボリューション，第4回海底調査シンポジウム
資料61～72ページ

報 告 者 紹 介



Shōichi Kokuta

穀田 昇一 昭和61年3月現在，
測量船「拓洋」首席観測士



Shigeru Sato

佐藤 繁 昭和61年3月現在，
測量船「拓洋」観測員