

電戟捕鯨用のパイプ銚発射機と 同電纜ロープとに関する研究*

黒木敏郎・奈良迫嘉一

On the Projector of a Pipe-harpoon and its Cable-rope for Electrical Whale-catching

Toshiro KUROKI and Yoshikazu NARASAKO

The authors, in this paper, give outlines about the apparatus of the pipe-harpoon projector for electrical whale-catching and about the results of its tests.

It is cleared that the shock-waves have transmitted in 37.4 milli-sec. through copper lead-wire from its harpoon-tying end to the other end and that the harpoon flies only 5 meter during this period.

The impact which occurs on the cable-rope is given as follow;

$$P = v\sqrt{\rho E g}$$

where P =impact, v =the component of harpoon velocity in the direction of the rope veered away, ρ =mass of copper wire in unit length, E =Young's modulus of copper, g =gravitational acceleration.

Using this formula, it is calculated that the impact comes up a large value ranging about 2 tons in thick cable-rope for an old-type electric harpoon, and, even in our thin cable-rope, the impact is 354 kg.

In order to keep off the knots on a copper lead-wire by shock, the authors devised the new type connector of lead-wire in which electricity was connected perfectly and mechanical shock-waves were intercepted. And, when these connectors were used, the tests were satisfactory to project harpoon and cable-rope.

緒 言

電戟をもって魚類・鯨類を捕殺する方法は今までもしばしば研究され試験もされて来たが、¹⁾ 低周波パルスを用いれば刺戟生理学的にも電力縮減という技術上の点からも最大の効果を生ずる事が分明している以上、²⁾ その関連器材にも相当な変革を来たしてよい筈である。本報では捕鯨を目的として設計されたパイプ銚の発射機とその電纜ロープとについて述べたい。

筆者等は水産庁応用研究費の補助を受けてこれ等の研究と実用化とに努力しつつあったが、昭和31年1月の研究室火災により諸資料・器材を焼失しこの研究実用化試験を中絶するのやむなきに至ったものである。その後残存する一部資料を回収復写し得たので、正確を期し難い点が多々ある事を省みずここに発表し、之に関心を持たれる諸彦の御参考に資すると共に、種々御支援御鞭撻を賜った水産庁当局及び鹿児島大学水産学部関係者特に敬天丸船長以下乗組員各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

器 材 の 概 要

関連器材は、電源・銚発射機・銚・電纜ロープの4主要部より成り、これを練習船敬天丸(265総トン)の船首に装備し得るようにした。

電戟電源装置: 約40cm×40cm×60cm のほぼ等大のケース3箇から成り立つ。第一函

* 日本機械学会第614回講演会(1956.2.25. 於東京)発表

には主として昇圧（兼マッチング）用コイルを収め、第二函には大容量高耐圧蓄電器を、第三函には遠隔操作リレー・安全スイッチ・低周波接点（モーター駆動）などの要部を収めた。電力条件は次の通りである。

〔入力側〕；交流100V，7Aまで（又は蓄電池 24V，30A まで）。

〔出力側〕；瞬間最高電圧 500V（1000V 切換え可能），瞬間最大電流 600A まで，平均電流1.3A 以下，平均出力 650W 以下，パルス時間幅約 3/10000sec，周波数毎秒 5～7 サイクル。

銚発射機：外観は Fig. 1 に示すように砲の形であるが，発射方式は従来のものと全く異なり，パイプ型銚を使用するためガス除け外筒を設けている。砲身相当の部分は外径30mm

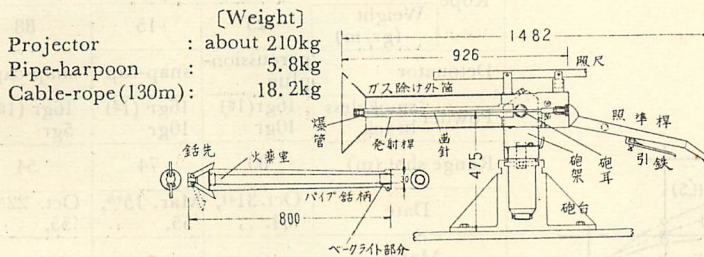


Fig. 1. Pipe-type harpoon and its projector

でその先端に爆管を装着し，長い撃芯でこれを起爆させる。発射薬としては1号方形無煙火薬19.5grを用い，純絹製薬包に入れて之を銚側（パイプ銚の奥，先端爪の直後孔部）へ装填する。砲台下端より砲口までの高さは475mm，両砲耳間最大幅380mm，前後最大長1482mmであって，本機並に銚は高知市ミロク工作所において製作されたものである。

銚：全長800mm，重量5.8kg。柄部をパイプ型（孔内径30mm）としたのが特徴である。電纜破断防止（発射初期より曳張力を掛け得られる）・電力漏洩縮減（外面を絶縁塗装し得る）・導電線結着確実化（外部から直接結着し得て，スリッピングを使用したり，結着部を砲腔へ入れたたりする必要がない）などの目的をもって本型式を採用した。銚頭部は自由開閉爪を両側に抱いて居り爪の軸ボス部が自然平頭銚の形を形成する。絶縁塗装を施さず電極としてのその実効面積はほぼ260mm²となる。柄部外表には絶縁塗装が施され且つ銚後端が鯨体外海中へ没しても電気洩れが最小となるようにパイプ孔内側の後端から30mmだけは硬質ベークライトがねじ込んである。

電纜ロープ：芯電纜の導線断面積は約2mm²（0.25×37）でビニール被覆試験耐圧3000V，電気抵抗は100mにつき約0.9Ωである。この電纜外周に30ヒロあたり80匁のタジマ麻8本を撚り無しで添わせ，綿糸（10本×3子）でセキヤマ捲きしたものをを用いる。その仕上り外径は約12mmとなり，重量は乾燥状態で15.2kg海水に数回侵漬した後では18.2kgとなった。試射（6発）後のものについて破断試験を行った所（乾燥状態で）最大張力1520kgを示した。

試験結果とその考察

地上試射は主として鹿児島市天保山甲突河畔において前後6回25発（試作完了時高知市で行った1回分をも含む）を実施した。その結果得られた各種条件下の弾道曲線4例を

Fig. 2 に示す。

電纜を用いずロープのみを銃に結着して射てば、ロープの柔軟な場合には弱いものでも切れないがかたい(剛い)ロープの場合には破断する。例えば古いカッチ染め綿ロープ

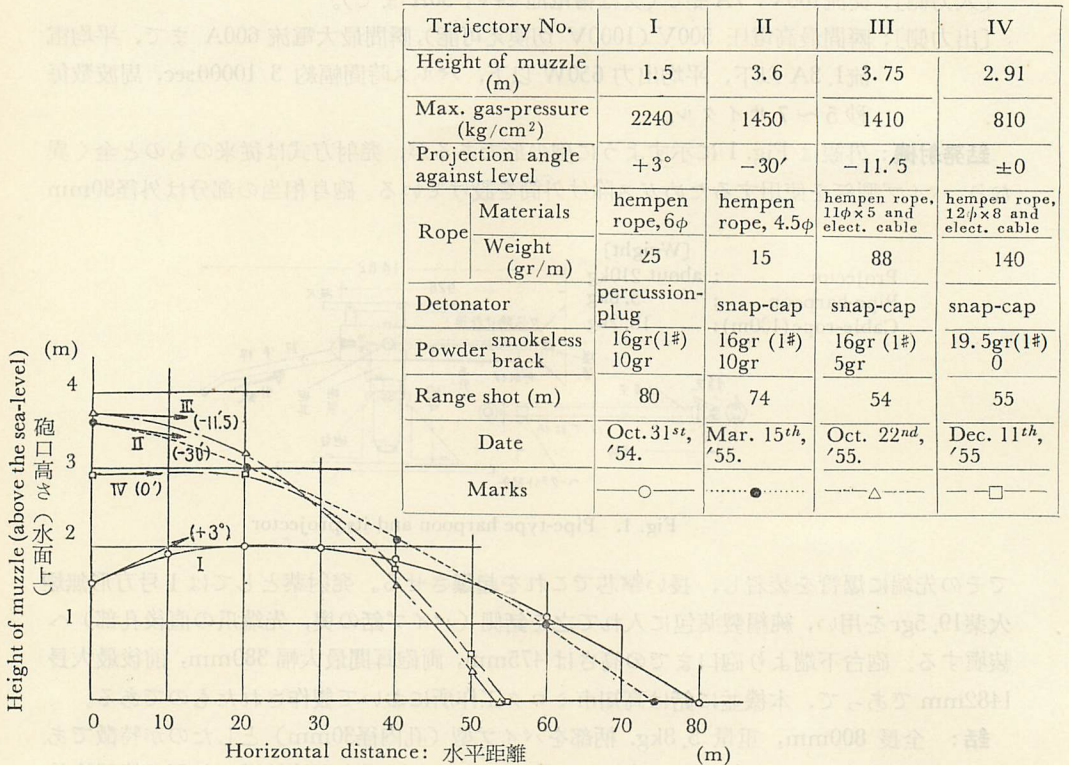


Fig. 2. Four examples of trajectories

(6 匁)を使用した時にはその引張り強度は僅か60~120kgであったにもかかわらず切断しなかったが、新しいアミランロープ(250デニール、7 匁)を使用したところその乾燥強度は200kgもあったのに一発で切れてしまった。

電纜を綿糸でセキヤマ捲きただけのもの(破断力52kgで、これは芯に用いた黄色塩化ビニール被覆0.18×50電纜の引張強さそのものと殆ど変わらない。)で射つと当然切れてしまう。これら切断の生ずる理由は発射と同時に衝撃力が働くからに外ならない。古ロープ(電纜なし)で切断を避けられるのはロープの柔軟さや伸びがこの衝撃力を吸収するからであろう。

電纜に麻紐を添わせて引張強度を増加すれば電纜も切れない。しかし衝撃力は避け得られず、ロープの射出余りが砲架附近に残る程の近射程の場合でも、外観上不変であるのかかわらず芯電纜の撚り銅線にコブを生じ3~4cmの規則的な間隔の凹凸部が生ずる。これは電纜ロープの麻を剥いで電纜のみをしごくようにして調べてみると絶縁被覆を透して指先に感知される程度である。(写真参照)それが銃に近い部分のみならず砲架側の射ち残り終端部に到るまで生ずるということは、麻やビニール被覆に関してはともかく、少くとも銅線に関する限り全長に亘って衝撃波が伝わることを意味する。もっと明確に表現すれ

ば、電纜ロープを構成するもののうち最も硬くて（弾性係数大で）均質なのは銅線であって麻や被覆ビニールは塑性的で不均質なのであるから、生ずべき衝撃弾性波は銅線のみを通過して縦波として末端へ及ぶものと考えられるのである。

今、導体の弾性係数を E 、密度を ρ 、弾性波の進行速度を V とすれば、よく知られた材料弾性力学の式として V は次式で与えられる。

$$V = \sqrt{E \cdot g / \rho} \dots \dots \dots (1)$$

撚り線程度の軟銅では $E = 11.0 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$ 、 $\rho = 8890 \text{ kg/m}^3$ であるから $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ として計算すれば $V = 3480 \text{ m/sec}$ を得る。我々の用いた電纜ロープの長さは 130m であったからこれに衝撃が加わってより（砲口より銃が射出されて後）僅か 0.0374sec 経った時には既にロープ後端まで衝撃波は到達していることになる。これは着弾までのほぼ 1/20 の時間であって、その間銃は 4～5m しか飛んでいない。

銅線（品川電線製、 0.25×37 ）に生じたコブ（凹凸部）の間隔は約 4cm であってこれが衝撃波の一波長でありその分の質量が撃力を生ずるものと考えられるから下式より撃力を算出することが出来る。

$$m(v - v_0) = P \cdot t \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 m は関係質量、 v_0 は初めの速度（発射前静止しているから $v_0 = 0 \text{ m/sec}$ ）、 v は撃力作用後の速度、 P は作用撃力、 t はその作用時間である。実測の結果では一波長 $\lambda (= 0.04 \text{ m})$ 内の銅線重量は $m = 0.74 \text{ gr}$ であった。速度 v としては、衝撃の掛る瞬間における銃の進行方向とロープの跳び上る方向とのなす角が約 38° であった* から銃初速 80 m/sec を考えに入れて $v = 80 \times \cos 38^\circ = 54 \text{ m/sec}$ とする。撃力の作用時間は弾性波が一波長を伝わる時間と見做されるから

$$t = \lambda / v \dots \dots \dots (3)$$

であって、 $t = 0.04 / 3480 = 1.15 \times 10^{-5} \text{ sec}$ となる。このような諸数値を (2) 式に代入すれば、この場合の撃力としては $P = 354 \text{ kg}$ という値を得る。** 前述のように麻を添わせてセキヤマ捲きした電纜ロープの引張強度は約 1520kg であるから安全係数は 4 程度となる。

所で、 $m = \lambda \rho$ であるから、これと (3) 式とを (2) 式へ代入して $v_0 = 0$ なることを考えると

$$\lambda \rho (v) = P \cdot \lambda / V$$

整理して (1) 式を入れると次の関係を得る。

$$P = v \cdot \sqrt{\rho E g} \dots \dots \dots (4)$$

即ち電纜ロープに作用する撃力は、電纜に生ずるコブの間隔（弾性波の一波長）を知らなくとも上式 (4) より求められることになる。

我々の用いた別の電纜（昭和電線製、ポリエチレン被覆、 0.18×30 ；コブの間隔 5cm と なった）では $P = 135 \text{ kg}$ となり、第七文丸 (1951)¹⁾ で交流 300V 電源により試みられた電

* 地上試射での写真資料を焼失したのは残念であったが、船上試験でロープの跳る姿勢を写した写真が残っていたので複写して本文末に掲げた。

** 銅線と被覆ビニールとの間、更に麻との間には多少の摩擦が作用してこの撃力に関係するであろうからこの値はもっと高くなる事も考えられる。

気捕鯨用電纜* については $P=2,120\text{kg}$ となる。

衝撃力が上述のように銅線を主体として生ずるものならば、電纜破損の故障発生に対してそれが撃力に起因するものである限り防止する方策が考え出されてもよい筈である。その試みの結果を Plate I (A), (B) の軟 X-線写真に示した。これは電纜に「挿込み接続」の箇所を設けるという着想に基く。すなわち、銅線の中途をわざと切断しその部分をヴィニールパイプ内で再びつなぐのであるが、両線は機械的には(引張り強度零となるように)接触させてあるだけにとどめる。電気的な接続はこれをおろそかに出来ないのでパイプ内へ“アクアダック”(炭素 15gr, タンニン酸 9gr, NH_4OH 1gr の割で混じたもの)を充填した。この機構は予想外に有効で銆から 2m 以内での接続点も破壊されずその点より後部の電纜にコブの生ずることも殆ど防止し得た。[Plate I (C) 参照]

芯から麻の外部へ導き出した接続点は離れたので [Plate I (B) 参照], この用法によらず銆交換を簡単に行う手段を確立すればよい訳である。

その後実施した海上試射 (Plate II 参照) においてもこの「挿込み接続」は有効であって合計 11 発の使用後も何等異常を認めなかった。

全般的に見てパイプ銆発射機も電纜ロープも実用性充分で、腔内圧 $1600\text{kg}/\text{cm}^2$ (1号方形火薬 19.5gr 使用) において好調、60~80m 程度の射程では弾道も素直で命中率も甚だ良好であった。ただ火災により銆(6本全部)やその装着工具・電戦電源一切を全焼したため実際の近海捕鯨実用試験まで実施し得なかった事について遺憾の情を表すると同時に協力支援を惜まれなかった関係者各位に対して深く御詫び申上げる次第である。

要 約

本報には、電気捕鯨における電纜ロープの衝撃破損を避ける目的で考案されたパイプ銆発射機とその試射結果との概要が述べられている。

試験中に生じたロープ内電纜のコブから、瞬間衝撃波は銅線内を発射直後 0.0374sec 以内に末端まで伝わる事を知った。それよりロープに加わる衝撃力は次式で求められることを導出した。

$$P=v\sqrt{\rho E g}$$

ここに P ; 撃力, v ; 銆速度のロープ方向成分, ρ ; 銅線の単位長さの重量, E ; その弾性係数, g ; 重力の加速度である。この式によれば、旧式交流使用電気銆の電纜ロープでは 2ton 以上、我々の細いロープでさえ 354kg の撃力が生ずることになる。

衝撃による銅線のコブの出来るのを防ぐためアクアダックで切り接ぎした部分を置いた所その接目から後へは衝撃波の伝達することを防止し得て故障が生じなくなった。その状況を Soft-X 線撮影結果で示した。

文 献

- 1) 黒木: 電戦漁法, 技報堂出版 (1955).
捕鯨装備改善委員会: 電気銆実施試験報告 (1951).
- 2) 黒木: 日本水産学会誌, 16巻, 4号 (1950); 18巻 1号 (1952).

* 故岩本千代馬氏よりその電纜ロープの一部を寄贈された。ここに附記して同氏生前の御好意に心から感謝する次第である。

Plate I. Photographs of cable-ropes by soft x-ray

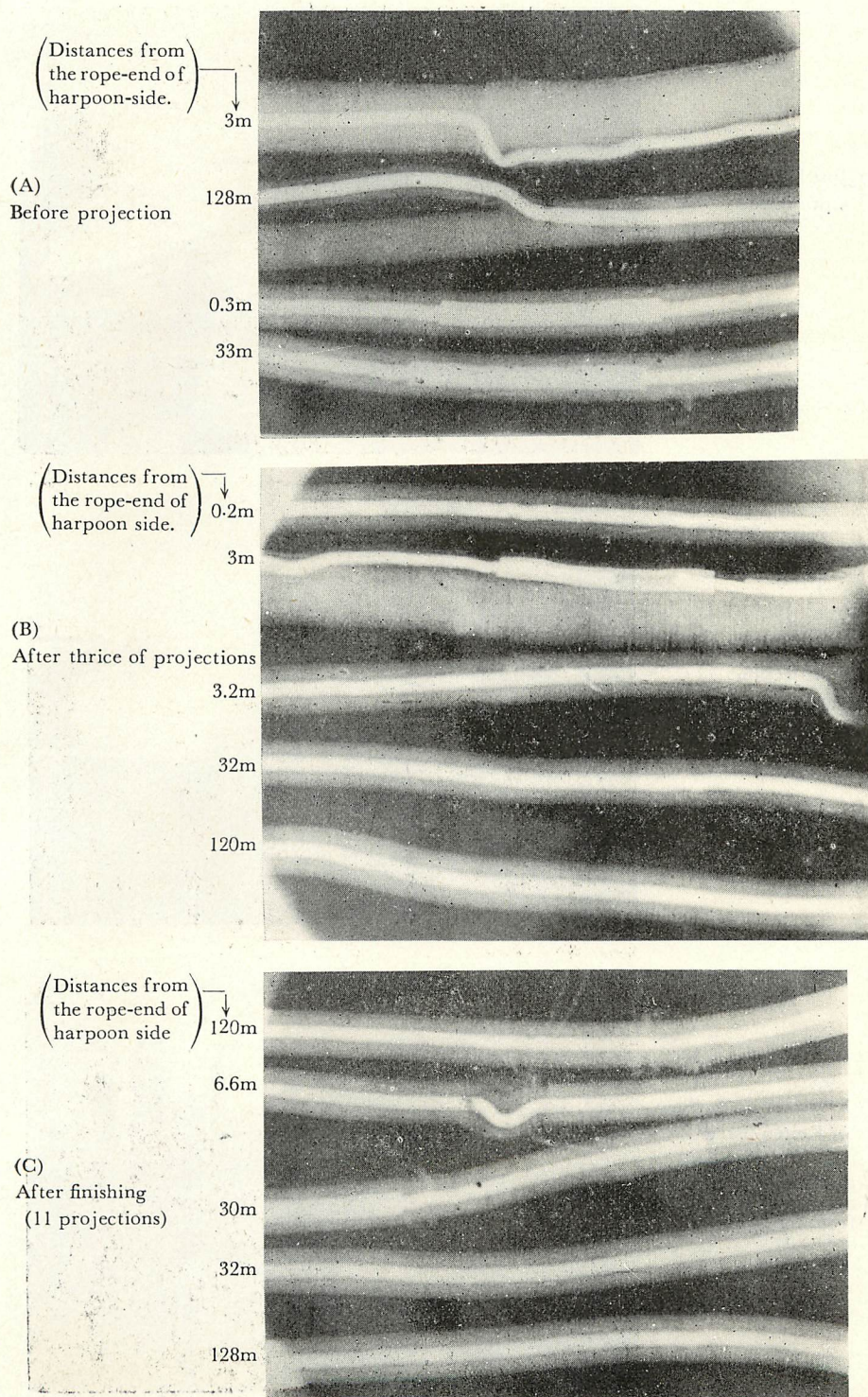
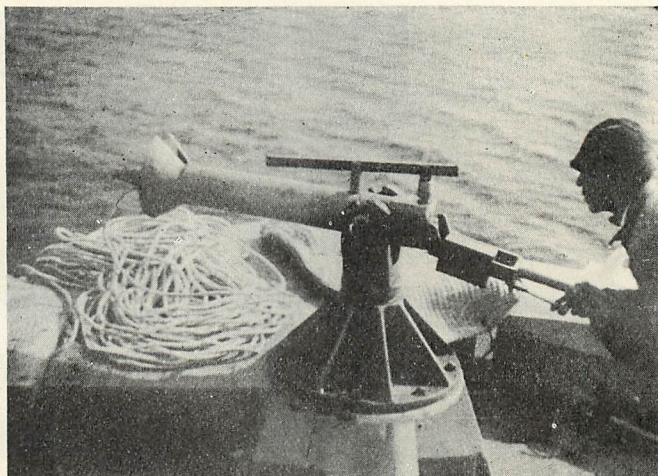
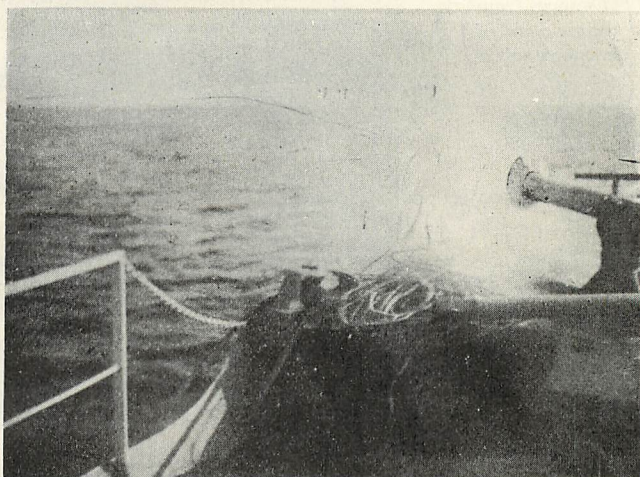


Plate II. Scenes of projections

(A) Just before
a projection



(B) Immediately after
a projection
(Give attention
to the moving of
cable rope.)



(C) Projector on the bow
of Keiten-maru
(The ship are going
astern, and a target
are pulled by a rope
from the bow.)

