

第4章 水中音響機器

著者：桑原 新、久山多美男

「船の科学」1987-8 Vol.40, No.8 ~1987-9 Vol.40 No.9 から抜粋・要約

水中音響機器については、商船、艦艇の両方について記述されているが、ここでは商船に関する記述だけを取り上げることにする。

1. はじめに

- ・記述の対象になるのは、明治初年から第二次世界大戦終了までである。
- ・水中音響機器としては、音響測深機とソナー（水中聴音機と水中探信）であるが、商船関係と云うことで音響測深機について触れる。

2. 1 音響測深機 発達の歴史

- ・海の深さの測定は長い間、索に錘をつけて測る錘測法と呼ばれる方法で行われていた。
- ・時代の進化とともに測深範囲が広くなり、深くなってきたので、従来の方法では対応できなくなってきた。
- ・錘測法では5000mの水深を測るのに、索の上げ下ろしを2~3m/sで行うと、1回の測深に1時間以上を要することになる。
- ・1912年（大正元年）イギリスの豪華客船タイタニック（Titanic）号が冰山に衝突する大事故が発生した。このような海難を未然に防ぐため水中音波を使用する方法が検討されたが、これが音響測深機の開発を促進することになった。
- ・同じ頃、イギリスのリチャードソン（F.C.Richardson）は測深に超音波ビームを利用することを提案したが、当時は必要な強さの音を発生させることは困難であった。
- ・水中音波を発生させる方法として、初期のころはダイナマイトや火薬の爆発または船殻に装着した振動板に機械的な打撃を与える方法が取られた。このような方法でも測深に要する時間は、錘測法に比べ短縮された。
- ・これらの問題は1917年（大正6年）フランスのランジバンとチロウスキーが水晶の電歪効果を利用する超音波の発生及び受信の方法を発明したことにより一挙に解決された。これを可能にしたのは真空管とそれを用いた発振器や増幅器が既にあったからである。このとき使用された超音波の周波数は40kHzであった。
- ・1912年（大正元年）頃、ランジバン及びフロリッセンはこの方式の送受波器を用いた音響測深機を完成した。
- ・これに刺激されてイギリスではニッケルの磁歪効果を利用した超音波音響測深機が開発された。

表6・1 外国製音響測深機

機名	形式略号	完成年	製造所名	信号音発生法
ベーム式 (Behm)	B	1912	Behm Echolot Gesellschaft	火薬の爆発
エコーメーター (Echo-Meter)	-	1931	Electroacoustic G.m.b.H.Kiel	スプリングハンマー (手動、電動)
ファゾメーター (Fathometer)	F	1922	Submarine Signal Corp.	電動スプリングハンマー、電磁サイレン
超音波測深機 (Ultra-Sonic) Sounder	L	1921	SCAM	水晶板の電わい (歪)
アドミラルティ型 (Admiralty) 型	A	1925	Henry Hughes & Son Ltd.	圧搾空気ハンマー、ニッケルの磁わい (歪)

受信機	水深指示方式	開発国	発明者
カーボンマイク	電動ストップウォッチ式	ドイツ	ベーム (A.Behm)
可動線輪型マイク	電動ストップウォッチ式、目耳法	ドイツ	-
カーボンマイク	ネオンランプの点火、目耳法	アメリカ	フェッセンデン (A.Fessenden)
共振水晶板	電磁オシロ式、目耳法	フランス	ランジバン (P.Langevin)
カーボンマイク、共振ニッケル板	目耳法、湿式記録式	イギリス	海軍研究所

- ・諸外国で開発された主な音響測深機を 表6・1 に示す。
- ・我が国には振動子材料の水晶やニッケルが資源的に乏しかったので、生産台数が増加するにつれ代用材料が使われるようになった。電歪振動子にはロッシェル塩 (Rochelle Salt)、磁歪振動子にはAF合金が使用された。
- ・昭和14年に国産化された99式音響測深機の振動子にはAF合金が使用された。
- ・終戦後は、電歪振動子にはチタン酸バリウム磁器が、磁歪振動子にはフェライトが使用された。

2. 2 我が国における音響測深機の普及

2. 2. 1 商船・漁船および特殊艦艇関係

- ・音響測深機が商品となって我が国で普及した状況は 表6・2 に示す。

表6・2 民用音響測深機の普及状況

装 備 年		特 殊 船 艇	商 船 及 漁 船	
西 曆	邦 暦			
1924	T 13	B式 (特務艦松江, 膠州)		
1925	14	F式 (特務艦満州)		
1926	S元	L式 (練習艦春日)		
1927	2			
	28	3	L式 (俊鶴丸) A式II (白鷹丸)	
	29	4	F式 (水川丸) L式 (秩父丸後継倉丸と改称)	
1930	5	A式II (特務艦淀)		
	31	6	F式 (特務艦膠州) L式II (水路部測量艇)	
	32	7	A式ボート型超音波測深機 (三井臨海研究所)	
	33	8	A式MS VII (第8海形丸)	
	34	9	A式MS III (水路部測量艇)	
1935	S10	L式 (特務艦淀, 勝力)		
	36	11	F式 (赤城丸) A式MS III (興安丸, 金剛丸, 高砂丸) 同国産 (有馬丸, 日新丸, サイパン丸)	
	37	12	F式 (特務艦駒橋, 勝力)	A式MS III (神鷹丸, 第2凶南丸, 浅香丸, 栗田丸, 吾妻丸) 同国産 (黒竜丸, 鴨緑丸)
	38	13	A式MS III (あるぜんちな丸) 同国産 (崎戸丸, 浅間丸, 竜田丸)	
	39	14	A式MS VII (第1, 第2海洋丸)	A式MS III (新田丸, ぶらじる丸, 八幡丸) 99式 (佐渡丸, 佐倉丸, 讃岐丸)
1940	15		99式 (春日丸, 神戸丸)	
	41	16	国産深海用 (徴用船戸山丸)	99式 (檀原丸, 天山丸)
	42	17	国産深海用 (徴用船陽光丸)	99式 (崑崙丸, 阿波丸)
	43	18	国産A式MS III (忍路丸, 快風丸, 七島丸)	99式 (雄風丸, 万栄丸, 第2口南丸)
	44	19		99式 (あかね丸外14隻)
1945	S20		99式 (ひらと丸, 第5山水丸, 大権丸)	

2. 3 主要機構の変遷

2. 3. 1 時間測定機構

- ・水深は超音波の発信から受信までの時間を計測することにより求められるので、短い時間を正確に測ることが重要である
- ・正確に時間を測る方法はいろいろ考案された。
 - ① スプリングで回転する円板を用い、音波の発信で回転をスタートさせ受信で回転を停止させ、その間の回転角度で時間を計測し水深を指示させる方法。
 - ② アメリカのフェッセンデン式 (F式) では、水深目盛を施した円板の周囲を、ネオンランプが一定速度で回転するようにし、水深目盛0位置で水中音波を放射し、反響音が帰ってきたときに、ネオンランプを点灯し深さを指示させた。この方式では、発信は自動的に繰り返されるので、発信により回転をスタートさせる方式に比べ、安定した動作が得られるようになった。
 - ③ 水深指示方式はいろいろ考案されたが、水深の変化を自動的に等間隔に記録したいというニーズが強くな

ってきたので、記録紙を送り、ペンで記録させる方法が用いられた。記録紙にはペンとの接触部で化学変化を起こさせるものや、電気破壊を起こさせるものなど種々あった。

- ④ 水深を表示させるものとしては、その他に電磁オッシロ・グラフ、ブラウン管オッシロ・スコープなどがあった。

2. 3. 2 モータの回転速度規制機構

- ・短い時間を計測する方法として回転円板が用いられたが、正確な時間を得るためにはモータの定速性が重要になってくる。これについてもいろいろな工夫がなされた。

直流モータの回転子に単相交流発電用の巻線を設け、モータの速度が上がると制動がかかるようにしたり、遠心力ガバナを用いて、直流分巻モータの界磁回路に直列に入れられた電気抵抗を速度の変化に応じて、変化させモータの速度を制御する方法が取られたりした。

2. 4 送受波器の装備法

- ・音響測深機の性能に大きな影響を与えるものに、海水中の気泡があるが、使用され始めた頃には余り気付かれなかった。

船が走航すると、船首で発生した気泡は船殻のすぐ外側の水流境界層に蓄積され、そこを通過する水中音を著しく減衰させる。これは音波の波長が短いほど大きくなる。

- ・この影響は船の喫水、速度および海況（風、波）により変化する。喫水が浅く、速度が速くなるほど影響は大きくなる。
- ・昭和14年頃、A式音響測深機（周波数 15 kHz）について、小型船で送受波器を船底外板より突出できるようにして試験したところ、約20 cm 突出させると、受信信号の減衰が20 dB程度減少することが分かった。
- ・音響測深機が我が国に輸入された初期のころの送波器、受波器の装備は船底に穴をあけなくて、船内に船底外板を底とする真水タンクを2個設け、そこに送波器、受波器を別々に装備した。
- ・戦前は上記のように船底に穴をあけなくて、送波器、受波器を装備する方法が取られていたが、この方法だと船底の鉄板と気泡の両方による音波信号の減衰が大きい。戦後アメリカの船を調査したところ、船底に穴をあけて装備していたことが判明し、その後はこの方式が一般となった。

2. 5 測得水深の誤差に対する検討の歴史

2. 5. 1 海底の傾きによる誤差

- ・初期の頃は、海底の傾きにより音波の伝搬経路が変わるとのことで、この影響について検討されたが、音波のビームが鋭くなり海底の乱反射を利用できるようになり、問題とされなくなった。

2. 5. 2 仮定測深音速による誤差

- ・海中の水中音の速度は温度により変わるので、これによる誤差が検討されたが、音速を 1500 m/s に一定にしても、実用上、殆んど問題がないことが判明した。

2. 5. 3 機械の作動状態による誤差

- ・水中音の発射から受信までの時間を測るため、円板を回転させるなどの機械的方法を用いていたため、その回転速度の誤差が心配された。これは別の測深法（錘測法）により、ときどき較正された。

[メ モ]

1. 本稿は「船の科学」 1987-8 Vol.40 No.8~1987-9 Vol.40 No.9 に掲載された記事の中で、商船に関係ある部分を抜粋・要約したものである。明治から昭和20年までの変遷が記述されている。
2. 商船に関係あるものは、音響測深機であるが、ここではその開発の歴史が記述されている。

水中音を用いて水深を測定する音響測深機は今ではどんな船にも装備されていて珍しくもなく、有難味も余り感じないが、音響測深機が開発される以前は、錘をつけた索で5000mの測定を行うのに1時間はかかったと書かれているのを読むと、その有用性を再認識させられる。

3. 水中に音波を発射するため、ダイナマイトや火薬を使ったり、船底を機械的に叩いたりしたとのこと。

それでも錘測法より効果的であったとのこと、水深を測ることは大変な作業であった。

4. 音波の発射から受信までの時間を測る方法も面白い。水中音の速度は1500m/s だから、水深1mの分解能を得るためには、 $1/1000$ 秒（ミリ秒）の計測が必要である。そのため円板を回転させ、円周上に発射と受信のマークをつけてその間の時間を計測した。円板の直径を大きくし、回転速度を上げる程分解能は上がる。先人の工夫は今でも参考になる。

デジタル計数技術が盛んになったのは昭和30年代の終わりごろからであり、コンピュータのクロック周波数を見るとその推移が分かる。昭和40年代はマイクロ秒（ 10^{-6} 秒）で、平成（1990年代）はナノ秒（ 10^{-9} 秒）の時代と云えよう。現代から見れば簡単なことでも大正、昭和の初期では大変だったのである。