HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	超音波による鋼鐵肉厚容器内の液面の測定について
Author(s)	江村, 富男
Citation	北海道大學工學部彙報, 6, 97-103
Issue Date	1952-09-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40497
Type	departmental bulletin paper
File Information	6_97-103.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

超音波による鋼鐵肉厚容器内の液面の測定について

江村富男

(昭和27年2月18日受理)

On the measurement of the level of liquid surface in the very thick steel-tube by ultrasonics

Tomio Emura

Abstract: There have been no simple methods of measuring, from outside, the level of liquid-surface in the very thick steel-tube.

Adescription is given of the instrument which have been designed for measuring the level of liquid surface by ultrasonics.

The instrument has comparatively good sensibility and is applicable for many other objects, it is simple and inexpensive to be constructed.

But at present, the setting of the instrument is not easy to be ajusted and we can not be too careful to set it on the tube, and some analytical considerations are described for the setting.

I. 測定法竝びに裝置

§1. 序　　論

鋼鐵肉厚密閉容器内の液面を外部より知ることの非常に困難なのは，電磁場が容易に容器内部に到達せず從來の電氣裝置は全く用ひられないこと，及び强力X線を使用することは非常に高價につき，その精度も疑はしく實用的でないためである．併し超音波の領域では音波も周波數，其の他の物理的性質に於いて光線や電波に近づき，而も液体や固体に對する透過性が甚だ大きく，光線やX線で透過出來ない大型固体の内部の構造の檢査等には最も大きな期待をもてるものである．筆者の試作せる裝置は次に述べる如く，原理的にも實用的にも簡單にして他の方法に比して有用と考へられる*.

---

* 試みに，極く最近考へられてゐる此の方面の試作品を擧げて見ると，

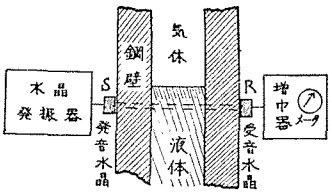
A) アイソトープをフロートに入れて液面に浮べ，その放射能の强度をガイガー管で調べて液面のレベルを知るもので，豫めガイガー管を容器内に取りつけて置く必要がある．

B) 底部より超音波パルスを發射し液面による反射パルスをブラウン管上に捕へ，液面の高さを知る方法で，數糎の精度である．

以上は米國に於て試作されてゐるが，高價につき，製作及び維持が我國では容易でなく，密閉厚内容器のレベルゲーヂとして不向と思はれる．

§2. 方　　法

方法は非常に簡單にして下圖の如く，今調べやうとする密閉容器の一方より超音波を入れて，丁度その對向する裏面で受けると，容器内に液体がなく氣体の場合は超音波の吸收損失が大きいから受音器に入る音エネルギーは非常に小さい．若し液体が容器内にあり，音波がその中を通過する時は吸收損失が少なく，急激に受音エネルギーは增加するため，内部の液体の有無を外側より探知出來る．併し，容器がボンベの如く丸い場合は色々な問題がある．卽ち，



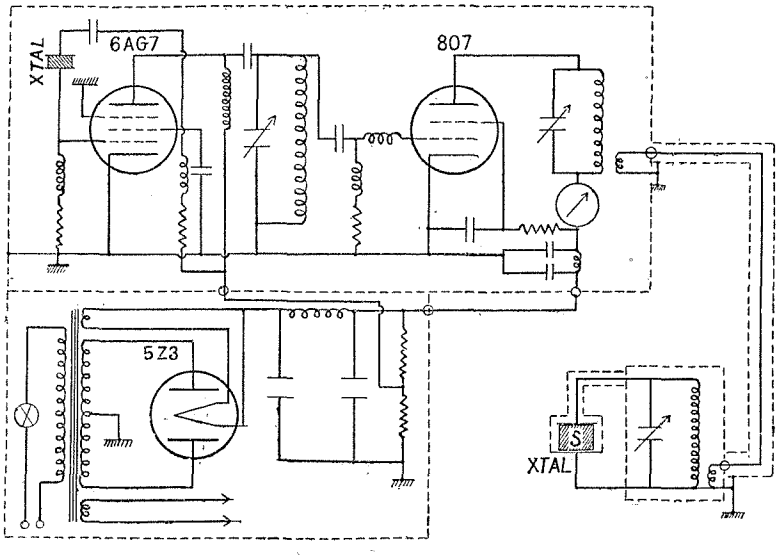
第1圖

(1) 音源を出た超音波を出來るだけ强く能率良く，而も丁度受音水晶に向けて發射せしめるため，音波が側壁部やその他に散つて精度を落さぬ様にすること．

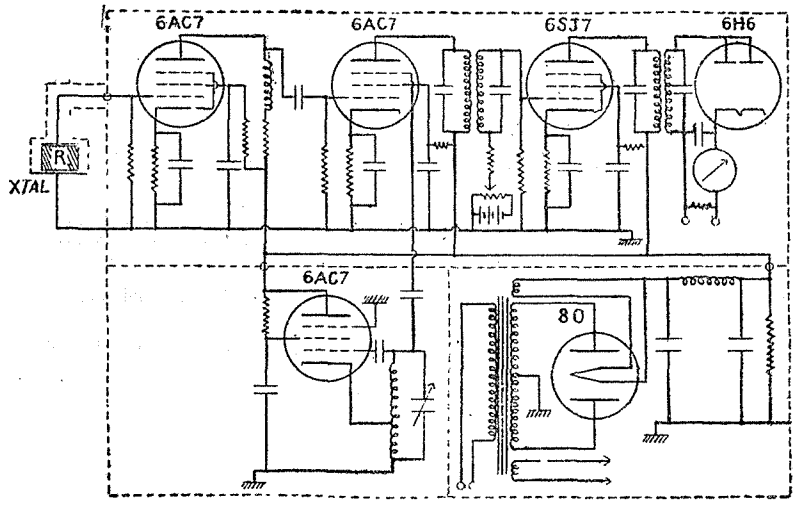
(2) 受音部ではボンベの中心部を通過せる音を强く受け，側壁内を通過して來た音をあまり受けぬ様にする等の物理的問題や機械的，電氣的安定度の問題がある．

§3. 測 定 裝 置

音源部は周波數安定の爲め，水晶發振器であり，送受音兩裝置とも電源は定電壓裝置により安定化してある．受音器電氣回路は普通のスーパー受信器回路と殆んど同じであるが，中間周波增幅部でC級增幅として容器の壁中を通過して來た一定量の音エネルギーは之れをカツトして增幅せぬ様にしてある．　亦，水晶振動子は直徑 30 mm，厚さ 27 mm である．第2圖發音器電氣回路，第3圖受音器電氣回路である．



第 2 圖



第 3 圖

§4. 水晶振動子保持器

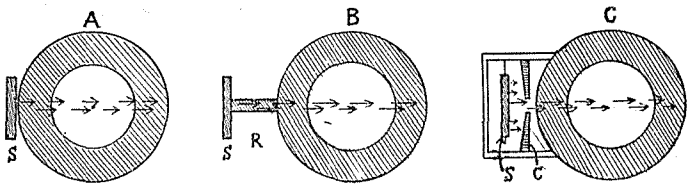
本裝置中一番問題になるこの保持器は色々な豫備實驗の結果，次の如き諸條件を滿足すべきである．

(1) 發振音波エネルギーが十分大なるために，水晶振動子は出來るだけ自由に振動する様に他の固体と接觸せぬこと．

(2) 水晶より出た超音波が丸い容器内に入る時は，壁面に垂直に入射するものだけが中心部を通過し，他のものは反射屈折して一部は側壁内に入つて中心部を通らず，寧ろ諸種の不都合な結果をもたらすから，これを除くため音波は適當に細いビームにして壁に垂直に入射せしむこと．

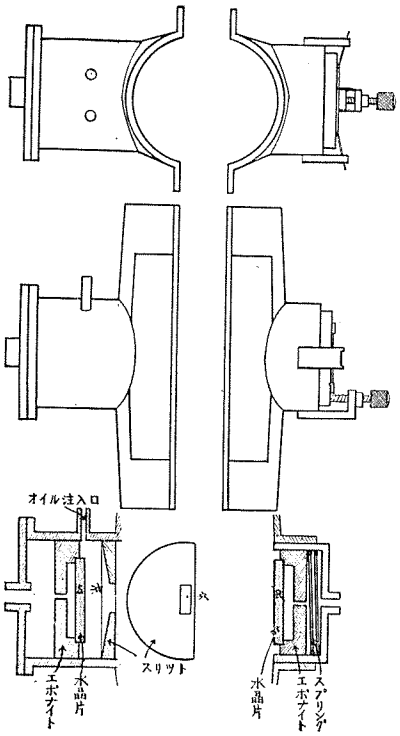
(3) これらの動作が長時間安定に行はれる型のものであること．

さて水晶より出た音波をビーム化するものとして，第4圖 A, B, C 型が考へられる．A 圖は水晶と壁とを粘性の大きい油を中間に挟んで線接觸せしむる．B 圖，壁に細い棒を立て，やはり強粘性油を挟んで水晶と棒を接觸せしめる．C 圖は水晶を變壓器油中にひたし，その前にスリツトを置いて音波をビーム化する．併し C 型のものが (3) の安定の條件に對して他に優り，又直接他の固体に接觸せぬため，自由に振動が出來て (1) の條件にも良く適する．尙ほ，今回のスリツトの穴の大いさは縦幅 10mm，横幅 4 mm である．第5圖の左が發音水晶保持器である．同圖右は壁と水晶との間の距離を變化しな



S 水晶片　R 棒　C スリツト

第 4 圖



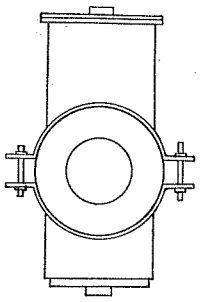
第 5 圖

がら最も能率の良い所を調べるために考案した受音水晶保持器である．壁と水晶との間に强粘性油を挟み，後部のネジとバネとで間隔を調節する．左右を逆に受送音水晶保持器に用ひて發振水晶と壁との間隔を調節する實驗も行つた．

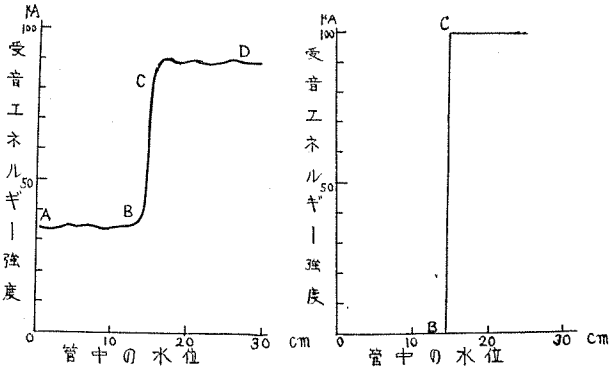
II. 實驗結果と考察

§5. 特性曲線

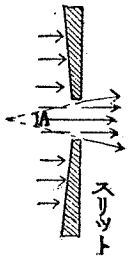
外徑 53 mm，內徑 27 mm，長さ 300 mm の鋼管に前記保持器を高さ 150 mm の所に第 6 圖の如く取りつけ，保持器を最も能率の良い所に調節し，管中の水位を變化しながら受音エネルギー變化を見ると，第 7 圖左の特性曲線が得られる．縱軸は受音エネルギー强度(增幅器のメーターの讀み)，橫軸は管中の水位の高さである．$\overline{AB}$ 部は壁中を通過せる音波が混入したものである．本裝置受信器回路では此の部分をカットし，變化部 $\overline{BC}$ を十分增幅して $\overline{CD}$ の小さい變化部は眞空管の飽和點でなくなる樣にしてある．かくして第 7 圖右の如き特性曲線が得られた．精度は數 mm である．



第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖

§6. スリット

側壁に散る音波を少くするために音波を十分細いビームにして壁面に垂直に入射せしめる必要あるが，發音水晶より出た音波をスリットで細くする場合，スリットの口より出た音波は第 8 圖の如く，口緣の處より廣がり次式で表はされる圓錐內に散る．

$$\sin A = K \cdot \frac{\lambda}{D} \qquad \cdots\cdots (1)$$

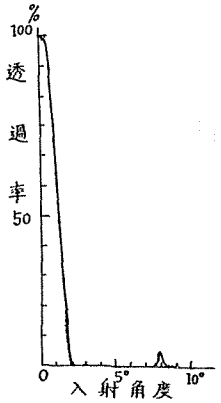
A は圓錐の頂角，λ は音波長，D はスリットの口幅，K は常數

側壁に散る音波を少なくするためビームを十分細くしやうとしても (1) 式の關係より，音波長一定の場合には D はあまり小さく出來ぬ．本實驗に用ひたスリットでは角は D が 10 mm で 9 度位，D が 4 mm で 20 度位になると思はれる．故に十分細いビームを得るには周波數の大きい超音波を使用する必要がある．

§7　音波の透過度

超音波が液体中より個体内に入射するとき，液中の壓縮波は境界面で反射屈折して反射壓縮波，屈折壓縮波，屈折捩波に變換し，又表面波として傳はるものもある*．此等の音波は音響インピーダンスの異なる境界面でも亦反射屈折して各々他の種類の波にも再分裂するが，一定時間後は直に不必要な定常波を作る傾向が强く，受音信號を大いに害するから定常波の出來ぬ様に注意しなければならぬ．

さてスリットを出た音波が壁中を透過する强さを考へるに，形が複雑で容易に理論式を立てる事は困難であるので，今液中に置かれた平行板に平面波の入射する場合** の Reissner の理論式に依つて大体の様子を調べて見ることにする．即ち立の薄い斷面について考へて見るのである．



第 9 圖

此の理論式に依つて板厚 d が鋼中の音波長 λ_d の 3 倍であるとして，角度に對する透過率を計算すれば第 9 圖の如くなる．縦軸は透過率，横軸は入射角である．大体 (1) 式で考へられる角の範圍内だけを取つたものであり，此の場合 Reissner の式に依れば，壁面に垂直に入射するものは透過率 D は 1 となり入射角が少しでも大きくなると急激に減少する．實際に管内に細い吸音物質の棒を入れて音波の廣がる範圍を調べて見ると，主ビームの幅は數 mm になつてゐる．音波が壁に垂直に入射するときは透過率は次式で表はされる．

---

* 平面波の反射屈折の計算は古くは Knott が地震の問題に關係して特別な數値で計算を行つた．其の他の人も比較的簡單な場合に計算をしてゐる．

1) I. C. G. Knott: Phil. Mag. 48, 64 (1899).
2) 鈴木武夫・河出廣：地震，4卷，227頁．
3) 井元鑑二：應用物理，Vol. 20, No. 6, 7, 259.

** 無限に廣い平行板に音波の入射するときの論諸は古くは Rayleigh[1], Lamb[2], Timoshenko[3] 等によるものがあり，液中にある無限平行板の場合は Reissner[4] により嚴密な理論式が立てられたが，R. Bar[6], Walti[5] 等の實驗と良く合ふ．F. Levi と N. S. Nagendra. Nath[7] が Reissner の同じ式をもつと嚴密に得てゐる．最近は R. O. Fay と O. V. Fortier[8] が詳細な實驗を行ひ有限板の場合を論じてゐる．

1) Lord Rayleigh: Proc. London Math. Soc. 20, 225 (189).
2) H. Lamb: Proc. Roy. Soc. (London), A93, 114 (1917).
3) S. P. Timoshenko: Phil. Mag. Ser. 6, 43, 125 (1922).
4) H. Reissner: Helv. Phys. Acta 11, 140 (1938).
5) A. Walti: Helv. Phys. Acta 11, 114 (1938).
6) R. Bàr: Helv. Phys. Acta 11, 397 (1938).
7) F. Levi, N. S. Nagendra Nath: Helv. Phys. Acta 11, 408 (1938).
8) R. O. Fay, O. V. Fortier: J.A.S.A. Vol. 23, No. 3, 339 (1951).

$$D=\frac{4K_d^2}{\{(K_d-1)^2-\sin 2\pi d/\lambda_d\}^2+4K_d^2} \quad \cdots\cdots (2)$$

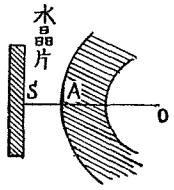
但し $K_d=\rho\omega_d/\rho_1\omega_1$, ρ_1, ρ は液及び鋼の密度, ω_1, ω_d は液中竝びに鋼壁中の音速度である.

さて (2) 式は

$$d=n\lambda_d/2 \quad (n \text{ は任意の整數}) \quad \cdots\cdots (3)$$

(3) 式が成立すれば $D=1$ となる. (2) 式のカーブは (3) 式なる條件の滿足する所で鋭く, 最大値 1 になるが少し條件式よりはづれると急に小さくなるから, 板厚一定の場合は周波數は (3) 式を滿足する様に選定して能率を良くすべきである.

同様の問題は水晶と壁との間隔に對してもいわれ, 第10圖の如く距離 $\overline{SA}$ には油中の音波長 λ'_d に對して



第 10 圖

$$\overline{SA}=n'\lambda'_d/2 \quad (n \text{ は整數}) \quad \cdots\cdots (3)'$$

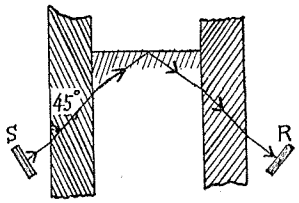
であるべきである. 若しAの近傍以外の點で此の (3)′ 式が成立すれば側壁内に散る音波を强めることになり, 壁内を通過する音波が多くなれば不要な干渉を起して受音信號を著しく妨害するから避けなければならぬ.

さらに良く應用されるのであるが, 音波を斜に入射し鋼壁内の屈折捩波の屈折角を 45° になる様にすれば Reissner の式は

$$D_r=\frac{4g_r^2}{\{(g_r^2-1)\sin 2\pi d/\sqrt{2}\lambda_r\}^2+4g_r^2} \quad \cdots\cdots (4)$$

但し $g_r=K_r\sqrt{2-\frac{\omega_1^2}{\omega_r^2}}$ $K_r=\frac{\rho}{\rho_1}\frac{\omega_r}{\omega_1}$

ω_r は捩波の鋼中の音速度

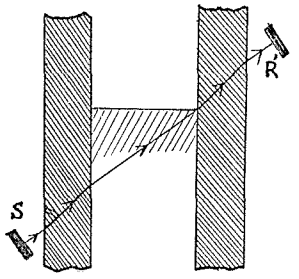


第 11 圖

(4) 式は

$$d=n\cdot\sqrt{2}/2\cdot\lambda_r \quad (n \text{ は整數}) \quad \cdots\cdots (5)$$

捩波の波長 λ_r が (5) 式を滿足するとき $D=1$ となる. 此の場合第11圖の如く液面で反射せしめてRで受けるか, 第12圖の如く 45 度の方向で透過ビームをR′で受けることが出來る. この場合良い結果を得やすいのは捩波の屈折角が45度の場合, 鋼中を進む壓縮波がなくなり, それだけ側壁に散る音波による不要な干渉が減少するからと考へられる.



第 12 圖

結 論

以上の種々の實驗考察の結果をまとめると, 能率の良い精度の良いものを得るためには

(a) 超音波の波長は (1) 式により短き程良いこと.

(b) 與へられた壁厚に對しては (3) 式「或は (5) 式」の關係を滿足する様に波長を選定すること.

(c) 不必要な干渉を起さぬ様に取り付けには細心の注意をすること．又，不要な干渉を出來るだけ避けるため，

(d) 連續音波を用ひるより適當なパルス波を用ひる．

(e) 吸音物質を側壁に塗布して壁中に散る音波を少なくする．

(f) 斜に音波を入射せしむる後の方法を用ひる．

(g) 壁と水晶との間隔も(3)′式を良く考慮して調整する．

以上の諸點が擧げられる．

尙ほ本實驗は東洋高壓株式會社の依頼による同社の 800 氣壓のアンモニアセパレータ内のアンモニヤの液とガスの境界面を外部より簡單に知り，此の境界面の高さを一定に保つ爲めのレベルゲーヂの基礎實驗である．實際に於ては操作が簡單で安價であり，且つ多くのレベルゲーヂの同時制御が可能である事を主要條件として警報裝置を附加した電氣回路其他を工夫した．

本研究は池田敎授の御懇切なる指導の下に，添谷助敎授の絶大なる御協力を得て行はれたもので深甚なる謝意を表する．又本研究遂行にあたり現場で大いに御協力された同社電氣課計器掛の諸氏に深く感謝する．