

### 超音波探傷用探触子の等価回路及び変換損失 について

正木, 知己 / MASAKI, Tomomi / 鷺頭, 源一 / 高橋, 勇 /  
Takahashi, Isamu / WASHIZU, Genichi

---

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部  
研究集報

(巻 / Volume)

8

(開始ページ / Start Page)

34

(終了ページ / End Page)

44

(発行年 / Year)

1972-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003564>

# 超音波探傷用探触子の等価回路及び変換損失について

電気工学科 正木知己, 鷲頭源一, 高橋 勇

## Equivalent Circuit and Conversion Loss of Transducer used in Ultrasonic Testing

Tomomi MASAKI, *Professor*  
Genichi WASHIZU, *Assistant*  
Isamu TAKAHASHI, *Assistant*

### Abstract

The analysis of piezoelectric resonators or transducers and their applications to ultrasonic systems can be carried forward on a continuum basis using wave equation. However, it is frequently more convenient to use the equivalent circuit approach where both the electrical and mechanical portions of the transducer or the system are represented by electrical equivalents.

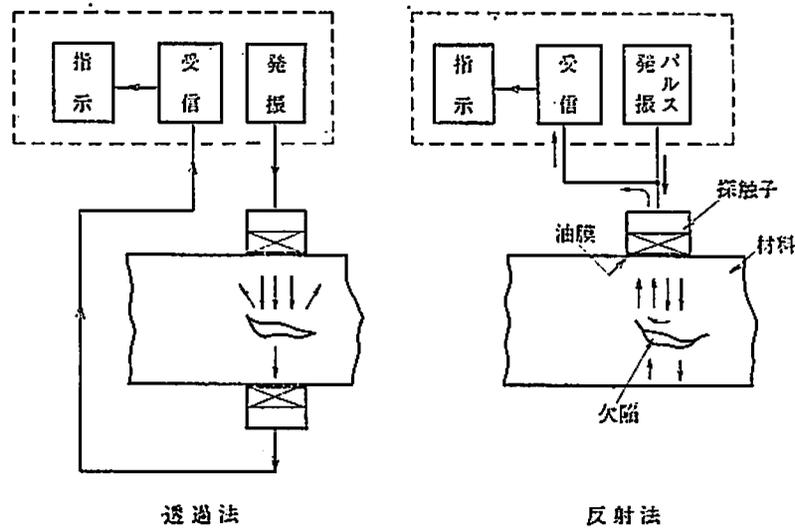
At this point, it can be represented by electrical equivalents that the transducer used in actual ultrasonic testing, and it is possible to calculate the transducer's conversion loss.

Usually, when the surface of the medium is slightly curved, in either a convex or concave direction, it is sometimes expensive or impractical to grid the crystal of the transducer itself to fit the curvature. In order to make contact, a oil filler may be inserted in the space between the transducer and the work in actual ultrasonic testing. Moreover, the back plate (for damping of the crystal) and load side of the transducer are terminated with materials which have different acoustic impedance.

In this case, the results of the calculation pointed out the followings: 1) As the oil filler becomes thinner, more energy is transmitted through it but the signal clarity deteriorates. 2) When the oil filler gets much thicker, there is a strong loss of energy. 3) In receiving transducer, there is a slight increase of the resonance frequency.

## 1. 緒 言

超音波を用いて材料内部の欠陥を非破壊検査する方法(超音波探傷法)には第1図の如く反射法と透過法がある<sup>1)</sup>。超音波探傷用探触子はそのいずれにおいても音響的信号を直接材料に送信し、または伝播してきた同信号を受信する部分として、丁度レーダーのアンテナの如き作用をな



第 1 図

している。

探触子には用途目的に応じて種々の Type に分れている。いずれも材料の欠陥を正確に把握することを目的としているが、時には材料の音響的減衰量の測定や内部応力の測定にも用いられるものがある。また材料に対する超音波の入射角度を自由に換えられるものもある<sup>2)</sup>。

これらの探触子はいわゆる音響変換器であることから、その交換損失の大小は探傷装置全体の探傷能力に影響を及ぼす。

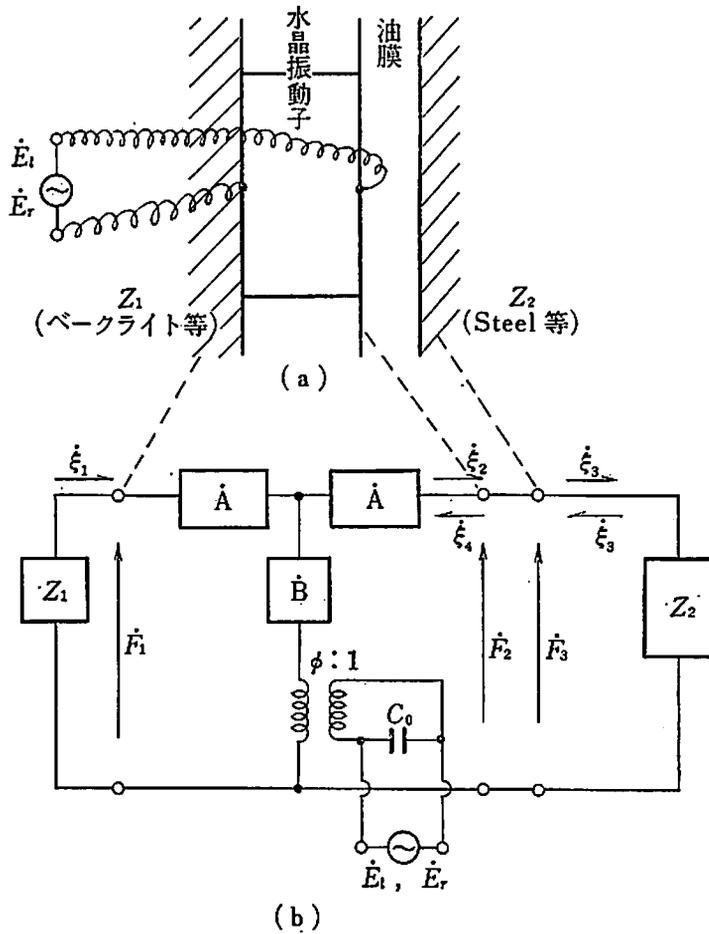
本稿はこのような背景をもつ超音波探傷用探触子につき可動状態の等価回路およびその変換損失について検討してみた。特に等価回路については近年問題となっている伝播媒介物としての油膜を考慮し、同時に交換損失の計算に際しても油膜の厚さを中心に検討してみた。波長の領域での厚い油膜についてはすでに一般化されているため本稿では  $\mu$  order の油膜を取扱い損失を具体的に dB 量で求めてみた。以下その結果を報告する。

## 2. 等 価 回 路

### 2.1 可動状態の探触子

探触子に用いる振動子には、水晶 ( $\text{SiO}_2$ )、硫酸リチウム ( $\text{LiSO}_4\text{H}_2\text{O}$ )、チタン酸バリウム系磁器 ( $\text{BaTiO}_3$ )、ジルコン・チタン酸系磁器 (PZT-5)、ニオブ酸鉛系磁器 ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ ) 等がある<sup>3)</sup>。本稿では安定性の高い水晶につき検討する。

可動状態下における探触子は第2図(a)の状態にある。これを水晶振動子の等価回路に油膜を含めると同図(b)の電気回路が成立する。 $\hat{F}, \hat{\xi}$  は歪力および粒子速度で添字1.2. ……は水晶面および材料面を表わす。 $Z_0 C_0$  は  $Z_0 = (\rho C_{11} S)^{1/2}$ ,  $C_0 = \epsilon S / 4\pi l$  で水晶の音響インピーダンスおよび電気容量を示す。なを  $\epsilon$  は水晶の誘電率  $S$  は水晶表面の面積、 $l$  は同厚さ、 $C_{11}$  は厚さ方向の弾性係

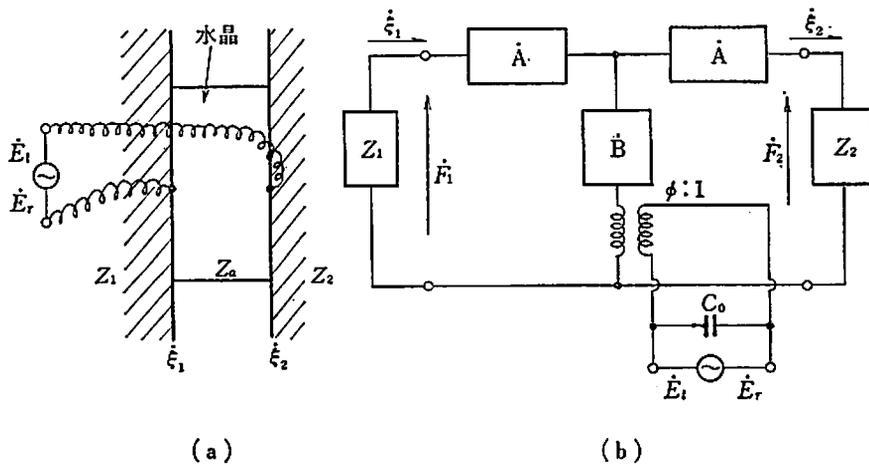


第 2 図

数、 $\rho$ は比重である。

### 2. 2 水晶の等価回路

油膜のない場合の水晶振動子の算価回路は次図(b)となる<sup>4)</sup>。



第 3 図

一応Xカットの縦波用として考えられ、かつ理論的に無限大の面の水晶振動子を考慮したものである。これは伝播波動を完全な平面波と考える必要上、並びに有限の水晶振動子に発生する輪廓振動の除外を意味する。

上図の等価回路で表わされる  $\dot{F}$  と  $\dot{\xi}$  の関係は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} -\dot{F} &= \phi \dot{E}_t + (\dot{\xi}_2 - \dot{\xi}_1) \dot{B} + \dot{A} \dot{\xi}_1 \\ \dot{F}_2 - \phi \dot{E}_t + (\dot{\xi}_2 - \dot{\xi}_1) \dot{B} - \dot{A} \dot{\xi}_1 \\ I &= j\omega C_0 \dot{E}_t + (\dot{\xi}_2 - \dot{\xi}_1) \phi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

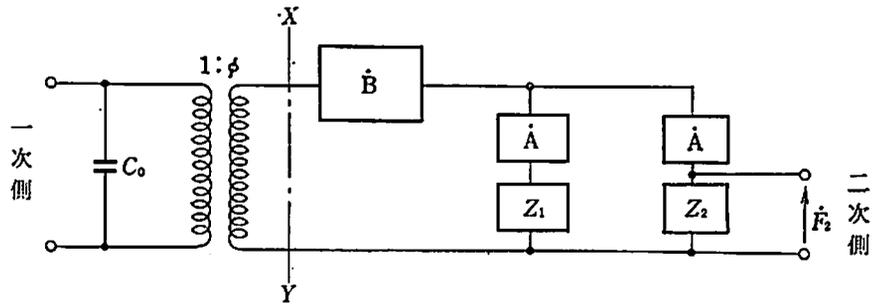
ただし  $\dot{A} = jZ_0 \tan \frac{\theta}{2}$        $\dot{B} = -\left( \frac{\phi^2}{j\omega C_0} + j \frac{Z_0}{\sin \theta} \right)$

$\theta = \gamma l = \left( \frac{\omega}{v} \right) l$        $\phi = -\frac{D\epsilon S}{4\pi l}$

$v$  は水晶の縦波の速度  $D$  は圧電定数で電気-機械結合係数  $k$  およびヤング率  $Y_0$  との間に  $k = D[\epsilon/4\pi Y_0]^{1/2}$  の関係がある。

次に使用状態にある水晶振動子は回路的にも共振状態下にあることから、通常それ以外の状態での使用はあり得ず、よって共振状態を考慮しつつ、第3図(b)の簡易化を試みる。

第3図(b)は次図の如く書き得る。ここで X-Y よりみた2次側のインピーダンスを  $\dot{Z}_x$  とおく。以下の回路変換において  $\dot{Z}_x$  の値は不変として等価せしめることにする。



第 4 図

これより  $\dot{Z}_x$  は

$$\dot{Z}_x = \dot{B} + \frac{\dot{A}^2 + \dot{A}(Z_1 + Z_2) + Z_1 Z_2}{2\dot{A} + Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

共振時には  $2\dot{A} \gg Z_1 + Z_2$  となることから上式を展開することにより次式を得る。

$$\dot{Z}_x = \dot{B} + \left( \frac{\dot{A}}{2} \right) + \left( \frac{Z_1 + Z_2}{4} \right) = -j \left( \frac{Z_0}{2} \right) \cot \frac{\theta}{2} + \left( \frac{Z_1 + Z_2}{4} \right) \quad (3)$$

ここで  $i\theta = \gamma l = \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) l = \pi + \pi \left( \frac{\Delta f}{f_0} \right)$  を考慮して次式を得る。

$$\dot{Z}_x = j \left( \frac{Z_0}{2} \right) \cdot \left( \frac{l}{v} \right) \cdot \left( \frac{\Delta \omega}{2} \right) + \frac{1}{4} (Z_1 + Z_2) \quad (4)$$

今  $L$ - $C$  共振回路の最も簡単な形として  $L$ - $C$  直列回路 ( $\dot{Z}_s = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ ) を考え式(4) をこれに等価せしめる。すなわち  $\omega \doteq \omega_0$  とおくと共振条件より  $L = 1/\omega_0^2 C$  となるから  $L$ - $C$  直列回路の  $\dot{Z}_s$  および式(4)は次式となる。

$$\dot{Z}_s = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j\left(\frac{1}{\omega_0^2 C} - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0^2}\right) \cdot \left(\frac{2}{C}\right) \quad (5)$$

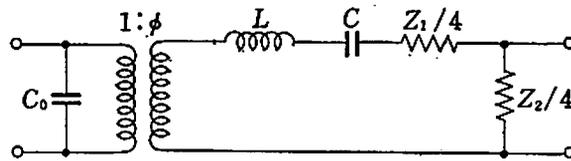
$$\dot{Z}_s = \frac{1}{4}(Z_1 + Z_2) + j\left(\frac{Z}{2}\right) \cdot \left(\frac{l}{v}\right) \cdot \left(\frac{\Delta\omega}{2}\right) = \frac{1}{4}(Z_1 + Z_2) + j\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_0^2}\right) \cdot \left(\frac{Z_0 \pi^2 v}{l}\right) \quad (6)$$

これより次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{2l}{Z_0 \pi^2 v} = \left(\frac{2}{\pi^2}\right) \cdot \left(\frac{l}{C_{11}}\right) \quad \text{ただし } C_{11} = \rho v^2 \\ L &= \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{\rho l}{2} \\ R &= \frac{1}{4}(Z_1 + Z_2) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

なお水晶振動子の面積を  $S$  とすると実用的には振動子の面積を考慮して  $L, C$  の値を  $2S$  倍する必要がある。

以上より第4図は次図の回路となる。



第 5 図

### 2. 3 油膜の等価回路

回路の伝送理論より油膜の等価回路を検討する。油膜については具体的な例が少い。本項では前述した等価回路にて、当初無限大の振動子による完全な平面波の伝播を仮定していることから油膜中においてもこれに従う。よって Group Velocity = Phase Velocity が成立していることでもあり単純な四端子網を適用するのに都合がよい。

第1図の油膜について送信端および受信端の変位の強さ  $\dot{F}_2, \dot{F}_3$  と粒子速度  $\dot{\xi}_2, \dot{\xi}_3$  との関係は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \dot{F}_2 &= \dot{F}_3 \cosh \gamma l + Z_0 \cdot \dot{\xi}_3 \sinh \gamma l \\ \dot{\xi}_2 &= \dot{\xi}_3 \cosh \gamma l + \left(\frac{\dot{F}_3}{Z_0}\right) \sinh \gamma l \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

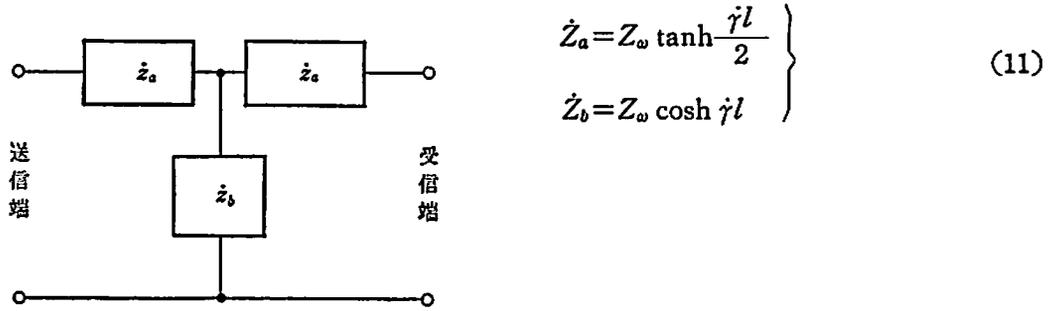
ただし  $Z_0$  は油膜の音響インピーダンスを示す。次にこれを  $T$  型四端子網で表わすと

$$\begin{pmatrix} \dot{F}_2 \\ \dot{\xi}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \gamma l, & Z_0 \sinh \gamma l \\ \left(\frac{1}{Z_0}\right) \cdot \sinh \gamma l, & \cosh \gamma l \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{F}_3 \\ \dot{\xi}_3 \end{pmatrix} \quad (9)$$

また受信端の  $\dot{F}_3, \dot{\xi}_3$  は

$$\begin{pmatrix} \dot{F}_3 \\ \dot{\xi}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \gamma l, & -Z_\omega \sinh \gamma l \\ \left(-\frac{1}{Z_\omega}\right) \cdot \sinh \gamma l, & \cosh \gamma l \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{F}_2 \\ \dot{\xi}_2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

これより下図の  $\dot{Z}_a, \dot{Z}_b$  は次の如く表わされる。



$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_a &= Z_\omega \tanh \frac{\gamma l}{2} \\ \dot{Z}_b &= Z_\omega \cosh \gamma l \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

第 6 図

なお油膜を無損失回路に想定すると音響インピーダンス  $Z_\omega$  および伝播定数  $\gamma$  は

$$Z_\omega = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad , \quad \gamma = \sqrt{YZ} = j\omega\sqrt{LC} \quad (12)$$

また  $l$  が小の場合 (油膜が薄い場合) は次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_a &= j\omega L \left(\frac{l}{2}\right) \\ \dot{Z}_b &= -j \frac{1}{\omega C \left(\frac{l}{2}\right)} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

なお、油膜が極端に薄い場合式(13)にて、 $L=0$  とし、そのまま  $\dot{Z}_a=0$ 、 $\dot{Z}_b=-j\frac{2}{\omega Cl}$  として使用してもよいが、実際は一定の厚さ ( $\mu$  order) を有する。

本項では一応容量成分としての油膜を仮定し近似式を導く。今、容量成分の油膜 ( $C_\omega$ ) と第6図の送電端よりみた駆動点アドミタンスは各々相等しいとおくと次式を得る。

$$-j \frac{1}{\omega C_\omega} = Z_\omega \coth \gamma l \doteq -j \frac{Z_\omega v_\omega}{\omega l_\omega} \quad (14)$$

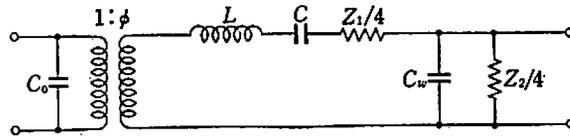
これより

$$C_\omega = \frac{l_\omega}{Z_\omega \cdot l_\omega} \quad (15)$$

が成立する。ただし  $l_\omega$  は油膜の厚さ、 $Z_\omega$  は油膜の音響インピーダンス、 $v_\omega$  は油膜中の音速である。

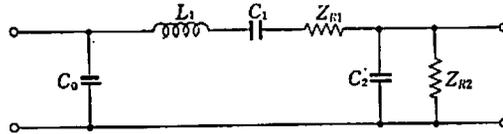
#### 2.4 総合した等価回路

以上の結果Xカット水晶振動子による探触子の油膜を含めた可動状態下の等価回路として第7図が成立する。



第 7 図

これを変成器を含まない等価回路として一次側に変換すると次図となる。



第 8 図

この場合、各素子の値は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \left( \frac{1}{\phi^2} \right) \cdot \left( \frac{\rho S l}{2} \right) \\ C_1 &= \left( \frac{4lS}{\pi^2 C_{11}} \right) \cdot \phi^2 \\ Z_{R1} &= \frac{Z_1}{4\phi^2} \\ Z_{R2} &= \frac{Z_2}{4\phi^2} \\ C_2 &= \frac{l_w}{v_w Z_w} \cdot \phi^2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

### 3. 変換損失

#### 3.1 定義

探触子の出力に対する入力の比を変換損失として、前述した等価回路により検討する。

一般に振動子は送信電圧  $\dot{E}_i$  を加えるとこれに共振した超音波を発生するが材料面上では、材料の種類に応じた粒子速度  $\dot{\xi}_i$  が生じこれが音速として材料内に伝播してゆく。また逆の場合は材料面上にて粒子速度  $\dot{\xi}_r$  として受信され、振動子の電極間には受信電圧  $\dot{E}_r$  を生じる。

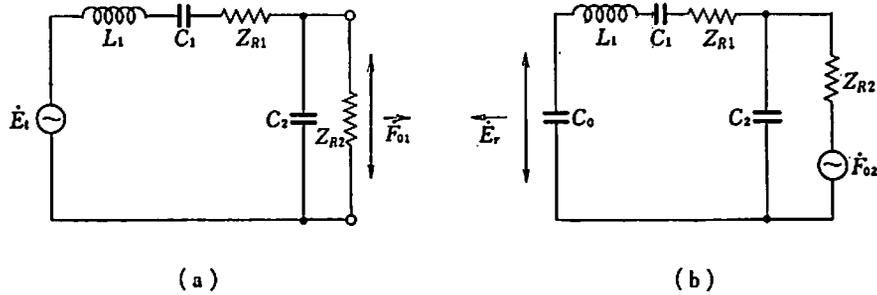
本稿では縦波を考慮していることから速度の分散が考えられず、したがって  $\dot{\xi}_i = \dot{\xi}_r$  が成立することから変換損失を次式で表わすことができる。

$$\dot{L} = \dot{E}_i / \dot{E}_r \quad (17)$$

dB 量では  $20 \log \dot{L}$  となる。

#### 3.2 計算式

第 8 図の等価回路において送・受信信号を考慮した場合を次図に示す。



第 9 図

入力  $E_t$  のとき  $F_{01}$  の出力があり、また逆に出力側より  $F_{02}$  の入力があった場合、最初の入力側に  $E_r$  が受信されたとする。現実には  $F_{01} \neq F_{02}$  であるが探触子（特に油膜）の変換損失を調べる関係上理想状態を考え  $F_{01} = F_{02}$  として考察する。

これより上図(a)(b)での入出力比は次式となる。

$$\frac{E_t}{F_{01}} = \left[ 1 + \frac{Z_{R1}}{Z_{R1}} - \omega C_2 X_1 \right] + j \left[ \omega C_2 Z_{R1} + \frac{1}{Z_{R1}} \cdot X_2 \right] \quad (18)$$

$$\frac{F_{02}}{E_r} = Z \cdot \left[ \frac{Z_{R1}}{Z_{R1}^2 + X_2^2} - j \frac{(1 - \omega C_2 X_2) X_2 - \omega C_1 Z_{R1}^2}{Z_{R1}^2 + X_2^2} \right] \cdot [j \omega C_0 Z_{R1} - \omega C_0 X_2] \quad (19)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} Z &= \left[ Z_{R1} + \frac{Z_{R1}}{(1 - \omega C_2 X_2)^2 + (\omega C_2 Z_{R1})^2} \right] - j \left[ \frac{\omega C_2 Z_{R1} + \omega C_2 X_2^2 - X_2}{(1 - \omega C_2 X_2)^2 + (\omega C_2 Z_{R1})^2} \right] \\ X_1 &= \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}, \quad X_2 = \omega L_1 - \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_0} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

この結果、式(17), (18), (19), (20)により変換損失の一般式として次式を得る。

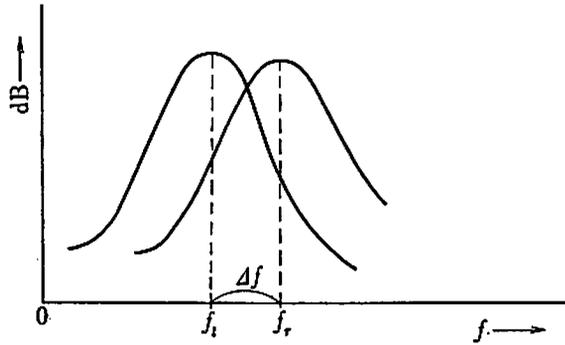
$$\begin{aligned} L &= \left[ \left( 1 + \frac{Z_{R1}}{Z_{R1}} - \omega C_2 X_1 \right)^2 + \left( \omega C_2 Z_{R1} + \frac{X_1}{Z_{R1}} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot \left[ \left( \frac{Z_{R1}}{Z_{R1}^2 + X_2^2} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \left\{ \frac{(1 - \omega C_2 X_2) X_2 - \omega C_1 Z_{R1}^2}{Z_{R1}^2 + X_2^2} \right\}^2 \right]^{1/2} \cdot \left[ \left\{ Z_{R1} + \frac{Z_{R1}}{(1 - \omega C_2 X_2)^2 + (\omega C_2 Z_{R1})^2} \right\}^2 \right. \\ &\quad \left. + \left\{ \frac{\omega C_2 Z_{R1} + \omega C_2 X_2^2 - X_2}{(1 - \omega C_2 X_2)^2 + (\omega C_2 Z_{R1})^2} \right\}^2 \right]^{1/2} \cdot [\omega C_0 (Z_{R1} + X_2)]^{1/2} \quad (21) \end{aligned}$$

### 3.3 変換損失の検討

可動状態では探触子の共振状態のみを取扱えばよい。したがって式(21)の  $X_1, X_2$  は零となるがこの場合、送信時と受信時の共振点  $f_t, f_r$  は受信時の  $C_0$  の影響で次の如くずれを生じる。

$$f_t = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}, \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}}} \quad (22)$$

本件については受信時に所定の補正を行うことにより容易に解決される。この点については本稿の縦波を使用した平面波の垂直入射の場合とは別に平面波の斜入射による横波を使用した場合



第 10 図

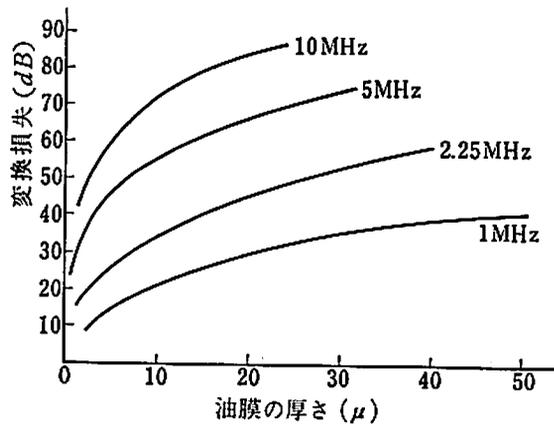
に同様の現象が指摘された例がある<sup>5)</sup>。実際の超音波探傷においては再現性の問題もからんで重要な点である。

さて、これらの条件を考慮し式(21)より  $\mu$  order の油膜について変換損失を計算してみた。周波数は 2~5 MHz が実際に多く用いられることから 1, 2.25, 5, 10 MHz を基にした。探触子の  $Z_1$  は多くは水晶に比較的音響インピーダンスの近いベークライトを使用していることから、また、探傷材料の  $Z_2$  については Steel が大部分を占めていることから各々次の如く設定した。

$$Z_1 = 3.6 \times 10^6 [\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]: \text{ベークライト}$$

$$Z_2 = 45.3 \times 10^6 [\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]: \text{Steel}^{6)}$$

計算結果を第11図に示す。



第 11 図

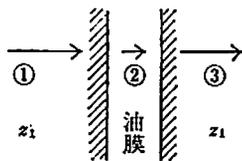
これより、周波数の高い程油膜における損失が増大する結果を得た。

なお、この結果は当初、式(13)で述べたように油膜が薄い場合について考察したものである。したがって油膜の厚さが増した場合は損失がこのまま増大するとの見解は当たらない。この点につ

いては油膜の厚さが波長の領域に達する場合の研究が過去において報告されている<sup>1)</sup>。これによると音圧通過率 ( $T_t$ ) は

$$T_t = \frac{4}{4 + \left( \frac{Z_1}{Z_2} - \frac{Z_2}{Z_1} \right)^2 \sin^2 \alpha}, \quad \alpha = \frac{2\pi l \omega}{\lambda} \quad (23)$$

で表わされる結果、油膜の厚さが  $\frac{1}{2}$  波長の整数倍の厚さをもつ場合は理論的に損失が零になる (ただし連続波の場合)。この点は周波数によって異なり  $f=1$  MHz では  $750 \mu$ ,  $-2.25$  MHz では  $333 \mu$ ,  $5$  MHz では  $130 \mu$ ,  $10$  MHz では  $75 \mu$  それに相当する。したがって現実には油膜の厚さが数  $\mu$  の位置か若しくは  $\frac{1}{2}$  波長の位置に探触子を設定するのがよい。なお上式(23)では波長領域での油膜を問題としており、かつ、超音波の伝播せしめる材料を次図の如く設定している



第 12 図

が、現実には①と③の材料が異なる場合が大多数を占めている。この場合、式(23)を用いても波長領域での油膜の場合は一般的にさしつかえないとされているが油膜が薄くなると材料①と③の音響インピーダンスの相違は無視できない。したがって  $\mu$  order の油膜を介して①と③の音響インピーダンスが異なる場合は式(23)はそのまま適用し得ない。このため、本稿では実用に供するため①と③を異った場合 (第 2 図) を取扱った。

さらに油膜が薄い場合の極端な例として油膜がない場合を考えてみる。

この場合は振動子が材料に密着しており油膜からの反射がない ( $C_2=0$ ) と仮定するのであるから振動子の信号は波動としてそのまま材料内に伝播してゆく。このため、式(21)より、境界面での反射率として  $L=2\sqrt{2} \left( 1 + \frac{Z_{R1}}{Z_{R1}} \right) \cdot (\omega C_0 Z_{R1})^{1/2}$  が存在するだけとなる。したがって、油膜での損失は零でありかつ、これが理想状態といえる。しかるに現実の超音波探傷法では被検査物が鋳物であったり列車の車軸であったりして表面の凹凸がはげしく理想状態の再現性が困難である。したがって仮に油膜を使用しないで超音波探傷を行った場合は空気層を介在させた状態となる。この場合は次の如く 100[%] 近い損失となる。

すなわちこれは平面波の垂直入射における境界面での音圧通過率、および反射率の問題としてとらえることができるから次式で検討し得る<sup>1)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} T_t &= \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} && \text{透過率} \\ T_r &= \frac{Z_1}{Z_2} \cdot T_t^2 && \text{反射率} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

今  $Z_1=15.2 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  : 水晶

$Z_2=0.0005 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  : 空気 ( $24^\circ\text{C}$ )

より  $T_t, T_r$  を計算すると  $T_t=0.013[\%]$

$T_r=99.987[\%]$  となる。このことは振動子と空気層との接触面において超音波は大部分、反

射してしまい空気層には伝播しないことを意味する。この事実はたとえ出力が大きくても空気層において入射波の100[%]近い損失を意味している。超音波探傷の実用に供し得ないことは明らかである。したがって、本稿では油膜があるとの前提に立って検討した。

以上の結果、実用的には油膜を介在させ、かつ極力、損失の少い数 $\mu$ の位置( $\frac{1}{2}$ 波長に常時油膜を設定するのは困難)における探触子の設定が望まれる。

#### 4. 結 言

超音波探傷用探触子の等価回路については他にいくつかの研究をみることができる。外国では W.P. Mason<sup>4)</sup>をはじめ E.G. Cook, G. Kossoff<sup>7)</sup> 等があり国内では明治大学教授井元鑑博士の研究<sup>8)</sup>が著名である。これらのうち外国では主に振動子そのものを重要視している点に特徴があるが材料内部の欠陥に対する探傷能力は探傷装置全体の総合された性能で判断されることから超音波探傷装置全体の変換能率についても検討する必要がある。この点について指摘した井元博士の見解は正しい<sup>9)</sup>。今後の課題の一つである。

本稿では当初指摘した如く極端に薄い油膜内での損失を中心に検討を加え、同時にこの場合の送信時、受信時の共振点のずれを指摘した点に意義がある。

また、近年探触子も含めて超音波探傷装置全体の問題として論じられているものに尖鋭なパルス(できれば単一パルス)信号による超音波の実用化が上げられる。これは材料内部の欠陥の定量的測定において不可欠の要素である。この点につき The Journal of the Acoustical Society of America 紙上にて発表した東京計器、山本英爾氏の論文<sup>10)</sup>は意義があり今後の成果が注目されている。

#### 謝 辞

本稿につき、今後の指針等について貴重な助言をいただきました計測工学科の落合徳臣先生、渡辺嘉二郎先生、機械工学科小井土正六先生には深く感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 日刊工業新聞社: S 39.11 超音波探傷法
- 2) 高橋勇, 八木健: 1963.11 NDI No. 2193
- 3) 田中哲郎: S 40.11 電気通信学会誌
- 4) W.P. Mason: Physical Acoustics, Vol. 1A
- 5) 山本英爾: 1964, NDI 資料
- 6) 日刊工業新聞社: 超音波技術便覧
- 7) G. Kossoff: March 1966, IEEE Transaction on Sonics and Ultrasonics.
- 8) 井元鑑二: 電気試験所研究集報 No. 542号
- 9) // : S 40.5 日本音響学会論文集

44 昭(47.3) 超音波探傷用探触子の等価回路及び変換損失について

10) 山本英爾: The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 49, No. 6 (Part 1)  
June 1971.