

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-289283

(P2007-289283A)

(43) 公開日 平成19年11月8日(2007.11.8)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00	4 C 6 0 1
H 0 4 R 17/00 (2006.01)	H 0 4 R 17/00 3 3 0 J	5 D 0 1 9

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-118344 (P2006-118344)	(71) 出願人	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(22) 出願日	平成18年4月21日 (2006.4.21)	(74) 代理人	100110777 弁理士 宇都宮 正明
		(74) 代理人	100100413 弁理士 渡部 温
		(72) 発明者	大澤 敦 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内
		(72) 発明者	中村 博親 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内
		Fターム(参考)	4C601 EE04 GB24 GB30 5D019 AA09 FF04 GG02 GG03 GG06

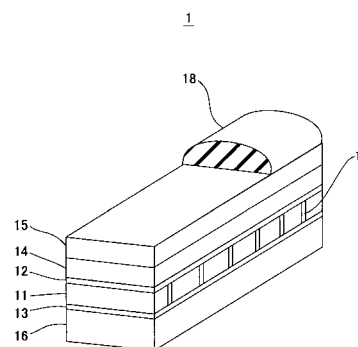
(54) 【発明の名称】 超音波用探触子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 圧電振動子と、バッキング層と、2層の音響整合層を備える超音波用探触子において、周波数特性を広帯域化する。

【解決手段】 音響インピーダンス Z_0 を有する材料によって形成されている圧電体及び該圧電体の両面に形成されている電極を含み、機械共振周波数 f_0 を有する振動子と、音響インピーダンス Z_B を有する材料によって形成されているバッキング層と、音響インピーダンス Z_1 及び整合厚 $\lambda_1/4$ に対して M_1 倍の厚さを有する第1の音響整合層と、音響インピーダンス Z_2 及び整合厚 $\lambda_2/4$ に対して M_2 倍の厚さを有する第2の音響整合層とを含み、上記 Z_B 、 Z_1 、 Z_2 、 M_1 、及び、 M_2 が、 $2 < M_1 + M_2 \leq 2 + 0.68(Z_B/Z_0)$ 、且つ、 $4 \leq Z_1 \leq 2Z_2$ 、 $2 \leq Z_2 \leq 8$ 、 $5 < Z_B$ を満たす。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

音響インピーダンス Z_0 を有する材料によって形成されている圧電体及び前記圧電体の両面に形成された電極を含み、印加される電圧に応じて超音波を送信すると共に、超音波を受信することにより電圧を発生する振動子であって、機械共振周波数 f_0 を有する前記振動子と、

前記振動子の第 1 の主面上に、音響インピーダンス Z_B を有する材料によって形成されているバッキング層と、

前記振動子の第 2 の主面上に、音響インピーダンス Z_1 を有する第 1 の材料によって形成されている第 1 の音響整合層であって、前記第 1 の材料及び前記機械共振周波数 f_0 に基づいて定まる超音波の波長 λ_1 に対して $M_1 / 4$ 倍の厚さを有する前記第 1 の音響整合層と、

前記第 1 の音響整合層上に、音響インピーダンス Z_2 を有する第 2 の材料によって形成されている第 2 の音響整合層であって、前記第 2 の材料及び前記機械共振周波数 f_0 に基づいて定まる超音波の波長 λ_2 に対して $M_2 / 4$ 倍の厚さを有する前記第 2 の音響整合層と、

を具備し、

$$\text{前記 } Z_B、Z_1、Z_2、M_1、\text{及び、} M_2 \text{ が、}$$

$$2 < M_1 + M_2 \leq 2 + 0.68 (Z_B / Z_0)$$

且つ、

$$4 \leq Z_1 \leq 2 Z_2 \leq 8、5 < Z_B$$

を満たす、超音波用探触子。

【請求項 2】

音響インピーダンス Z_0 を有する材料によって形成されている圧電体及び前記圧電体の両面に形成された電極を含み、印加される電圧に応じて超音波を送信すると共に、超音波を受信することにより電圧を発生する振動子であって、機械共振周波数 f_0 を有する前記振動子と、

前記振動子の第 1 の主面上に、音響インピーダンス Z_B を有する材料によって形成されているバッキング層と、

前記振動子の第 2 の主面上に、音響インピーダンス Z_1 を有する第 1 の材料によって形成されている第 1 の音響整合層であって、前記第 1 の材料及び前記機械共振周波数 f_0 に基づいて定まる超音波の波長 λ_1 に対して $M_1 / 4$ 倍の厚さを有する前記第 1 の音響整合層と、

前記第 1 の音響整合層上に、音響インピーダンス Z_2 を有する第 2 の材料によって形成されている第 2 の音響整合層であって、前記第 2 の材料及び前記機械共振周波数 f_0 に基づいて定まる超音波の波長 λ_2 に対して $M_2 / 4$ 倍の厚さを有する前記第 2 の音響整合層と、

を具備し、

$$\text{前記 } Z_B、Z_1、Z_2、M_1、\text{及び、} M_2 \text{ が、}$$

$$2 < M_1 + M_2 \leq 2 + 0.68 (Z_B / Z_0)$$

且つ、

【数 1】

$$\frac{1}{2} \frac{Z_1}{Z_0} - \frac{2}{5} (2 - M_1) \frac{Z_B}{Z_0} + \frac{3}{34} M_1 - \frac{15}{34} \leq \frac{Z_2}{Z_0} \leq \frac{1}{2} \frac{Z_1}{Z_0} - \frac{2}{5} \frac{Z_B}{Z_0} + \frac{10}{34}$$

を満たす、超音波用探触子。

【請求項 3】

前記圧電体が、圧電セラミックスによって形成されている、請求項 1 又は 2 記載の超音

10

20

30

40

50

波用探触子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を送受信する圧電振動子と、不要な振動を制動するためのバッキング層と、音響インピーダンスの整合を図るための音響整合層とを有し、医療用の超音波診断装置等において用いられる超音波用探触子に関する。

【背景技術】

【0002】

医療分野においては、被検体の内部を観察して診断を行うために、様々な撮像技術が開発されている。特に、超音波を送受信することによって被検体の内部情報を取得する超音波撮像は、リアルタイムで画像観察を行うことができる上に、X線写真やRI (radio isotope) シンチレーションカメラ等の他の医用画像技術と異なり、放射線による被曝がない。そのため、超音波撮像は、安全性の高い撮像技術として、産科領域における胎児診断の他、婦人科系、循環器系、消化器系等を含む幅広い領域において利用されている。超音波撮像とは、音響インピーダンスが異なる領域の境界（例えば、構造物の境界）において超音波が反射される性質を利用する画像生成技術であり、超音波ビームを人体等の被検体内に送信し、被検体内において生じた超音波エコーを受信し、超音波エコーが生じた反射点や反射強度を求めることにより、被検体内に存在する構造物（例えば、内臓や病変組織等）の輪郭を抽出する。

【0003】

このような超音波撮像を行う装置（超音波診断装置、超音波撮像装置等と呼ばれる）においては、超音波を送信及び受信する超音波トランスデューサとして、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛：Pb(lead) zirconate titanate）に代表される圧電セラミックや、PVD F（ポリフッ化ビニリデン：polyvinyliden difluoride）に代表される高分子圧電材料等の圧電体の両面に電極を形成した振動子（圧電振動子）が、一般的に用いられている。

【0004】

振動子の電極に電圧を印加すると、圧電効果により圧電体が伸縮して超音波が発生する。そこで、複数の振動子を1次元又は2次元状に配列し、それらの振動子を順次駆動することにより、所望の方向に送信される超音波ビームを形成することができる。また、振動子は、伝播する超音波を受信することによって伸縮して電気信号を発生する。この電気信号は、超音波の受信信号として用いられる。

【0005】

ところで、異なる物質が接する境界面における超音波の伝播効率、それらの物質の音響インピーダンスに応じて変化する。具体的には、音響インピーダンスの差が大きい境界面において、超音波は反射し易くなるので、超音波の伝播損失は大きくなる。ここで、音響インピーダンスとは、音響媒質密度と音速との積で表される物質固有の定数であり、その単位としては、一般に、MRayl（メガレイル）が用いられる（1MRayl = $1 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）。例えば、PZT等の圧電セラミックの音響インピーダンスは、約23MRayl～約35MRaylであり、人体の音響インピーダンスは、約1.5MRaylである。

【0006】

音響インピーダンス Z_0 の物質と音響インピーダンス Z_M の物質との境界面における超音波の反射率 R_p は、次式（1）によって表される。

$$R_p = (Z_0 - Z_M) / (Z_0 + Z_M) \cdots (1)$$

そこで、式（1）に、一般的な圧電セラミックの音響インピーダンス $Z_0 = 35 \text{ MRayl}$ と、生体の音響インピーダンス $Z_M = 1.5 \text{ MRayl}$ を代入すると、反射率は $R_p = 0.92$ となる。即ち、振動子の材料として圧電セラミックを用いる場合には、振動子を人体に直接接触させても、超音波はあまり伝播しない（1割未満）ことがわかる。

【0007】

10

20

30

40

50

そのため、通常は、振動子と被検体との間に音響整合層を挿入することにより、音響インピーダンスの整合が図られている。即ち、振動子から被検体に向けて音響インピーダンスを段階的に変化させることにより、各境界面における超音波の反射率を低下させている。この音響整合層は、理論的には多層構造とする方が、より伝播効率を改善できるが、設計上の理由等により、一般には1層～3層程度設けられる。

【0008】

超音波の伝播効率を高めるためには、各音響整合層について、最適な音響インピーダンス及び厚さを設定する必要がある。例えば、非特許文献1には、エネルギー伝送論に基づいて求められた最適な音響インピーダンスが開示されている。

【0009】

また、非特許文献2には、音響整合層の界面における超音波の反射を考慮して、音響整合層の厚さを、それぞれの音響整合層を伝播する超音波の波長の $1/4$ に設定することが開示されている。その理由は、以下の通りである。理想的なインパルス波形を有する駆動信号によって振動子を励振したとしても、振動子が有する周波数帯域特性の影響により、送信された超音波は、振動が減衰しながら持続する波形を示す。そのため、超音波の伝播方向における分解能（即ち、距離分解能）はあまり良くない。ここで、超音波が音響整合層の界面において反射することにより、音響整合層を往復する超音波の位相は、直接波（振動子又は下層の音響整合層から伝播したままの超音波）に比べて波長の $1/2$ （半波長分）だけずれる。そこで、音響整合層の厚さを波長の $1/4$ に設定すると、反射波と直接波との重ね合わせにより、直接波の半波長以降の波形が反射波によって抑圧される。それにより、直接波の波形を理想的なインパルス波形に近付けることができる。

【0010】

関連する技術として、特許文献1には、圧電体に2層の音響整合層を設けた超音波探触子において、圧電体上に形成された第1音響整合層の厚みを t_1 とし、第1音響整合層上に形成された第2の音響整合層の厚みを t_2 とし、また、第1音響整合層の材料中の縦波の音速を v_1 とし、第2音響整合層の材料中の縦波の音速を v_2 とし、この超音波探触子に用いる圧電体の機械共振周波数を f_0 としたとき、第1及び第2の音響整合層の厚みを $(v_1/4f_0) \times 1.15 \sim t_1 \sim (v_1/4f_0) \times 1.20$ 、及び、 $(v_2/4f_0) \times 1.15 \sim t_2 \sim (v_2/4f_0) \times 1.20$ の範囲にすることが開示されている。即ち、特許文献1においては、中心周波数付近における損失及び損失変動の低減して、高感度及び高分解能を実現するために、非特許文献2に記載されている理論値に対して、各音響整合層の厚さを増加させている（例えば、 $\lambda/4$ に対して $1.15 \sim 1.20$ 倍）。

【0011】

ところで、超音波には、低周波数帯域における深部到達性や、高周波数帯域における高分解能等の特性がある。そのため、通常は、中心周波数帯域の異なる複数種類の超音波用探触子を用意し、それらを診断対象に応じて交換して使用することにより、そのような超音波特性を生かした画像生成が行われている。しかしながら、消化器官に挿入される内視鏡タイプの探触子や、血管に挿入されるカテーテルタイプの探触子を用いる場合には、探触子を被検体（人体）内に挿入したり抜き出したりする必要があるため、そのような作業を何度も行うことは、被検体にとって大きな身体的負担となる。そのため、特にこれらの探触子においては、探触子を交換することなく多くの超音波画像情報が得られるように、低周波から高周波までの広い周波数帯域を網羅できる性能が求められている。また、一般的な超音波用探触子においても、周波数特性を広帯域化することにより、得られる超音波画像の画質を高めることができる。

【0012】

ところが、音響整合層を設けることにより超音波の伝播効率を向上させても、その一方で、周波数帯域が狭まるという弊害が存在する。ここで、周波数帯域幅 f_{BW} （%）は、次式（2）によって表される。式（2）において、周波数 f_H 及び f_L は、音圧がピーク値から6dB減衰する2つの周波数であり（ $f_L < f_H$ ）、周波数 f_c は、周波数 f_H と

10

20

30

40

50

周波数 f_L との中心周波数である。

$$f_{BW}(\%) = 100 \times (f_H - f_L) / f_C \quad \dots (2)$$

【0013】

例えば、圧電セラミック（音響インピーダンスが 35 M R a y l 程度、電気機械結合定数が $K_{33} = 0.7$ 程度）とバッキング層（音響インピーダンスが 3.5 M R a y l ~ 6.0 M R a y l 程度）とを含む超音波用探触子に、第 1 の音響整合層（音響インピーダンスが 8.92 M R a y l 程度）、及び、第 2 の音響整合層（音響インピーダンスが 2.34 M R a y l 程度）を設ける場合に、非特許文献 2 に記載されているように、各音響整合層の厚さを波長の 1/4 に設計すると、周波数帯域幅 $f_{BW}(\%)$ は、およそ 60% ~ 65% 程度となる。

10

このように、超音波の伝播効率を最大にするような音響整合層の条件は、広帯域の周波数特性を実現するためには必ずしも適していない。

【特許文献 1】特開昭 58 - 177640 号公報（第 1 頁）

【非特許文献 1】「超音波便覧」、丸善、p. 116

【非特許文献 2】伊東正安、望月剛 著「超音波診断装置」、コロナ社、p. 30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、超音波を送受信する圧電振動子と、不要な振動を制動するためのバッキング層と、音響インピーダンスの整合を図るための 2 層の音響整合層を備える超音波用探触子において、周波数特性を広帯域化することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記課題を解決するため、本発明の 1 つの観点に係る超音波用探触子は、音響インピーダンス Z_0 を有する材料によって形成されている圧電体及び該圧電体の両面に形成された電極を含み、印加される電圧に応じて超音波を送信すると共に、超音波を受信することにより電圧を発生する振動子であって、機械共振周波数 f_0 を有する振動子と、該振動子の第 1 の主面上に、音響インピーダンス Z_B を有する材料によって形成されているバッキング層と、振動子の第 2 の主面上に、音響インピーダンス Z_1 を有する第 1 の材料によって形成されている第 1 の音響整合層であって、第 1 の材料及び機械共振周波数 f_0 に基づいて定まる超音波の波長 λ_1 に対して $M_1/4$ 倍の厚さを有する第 1 の音響整合層と、該第 1 の音響整合層上に、音響インピーダンス Z_2 を有する第 2 の材料によって形成されている第 2 の音響整合層であって、第 2 の材料及び機械共振周波数 f_0 に基づいて定まる超音波の波長 λ_2 に対して $M_2/4$ 倍の厚さを有する第 2 の音響整合層とを具備し、上記 Z_B 、 Z_1 、 Z_2 、 M_1 、及び、 M_2 が、 $2 < M_1 + M_2 \leq 2 + 0.68 (Z_B / Z_0)$ 、且つ、 $4 \leq Z_1 \leq 2Z_2$ 、 $2 \leq Z_2 \leq 8$ 、 $5 < Z_B$ を満たす。

30

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、超音波の周波数特性を考慮しながら、バッキング層の音響インピーダンス並びに 2 層の音響整合層の厚さ及び音響インピーダンスを設定するので、広帯域な超音波を送受信できる超音波用探触子を得ることが可能となる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。なお、同一の構成要素には同一の参照番号を付して、説明を省略する。

図 1 は、本発明の一実施形態に係る超音波用探触子の構造を示す一部断面斜視図である。図 1 に示すように、超音波用探触子 1 は、圧電体 11 並びにその両面に形成されている電極 12 及び 13 と、第 1 の音響整合層 14 と、第 2 の音響整合層 15 と、バッキング層 16 とを含んでいる。また、超音波用探触子 1 は、これらの構成に加えて、充填材 17 及び音響レンズ 18 を含んでいても良い。

50

【0018】

圧電体11並びに電極12及び13は、電圧を印加されることにより圧電効果により伸縮して超音波を発生する振動子（圧電振動子）を構成する。圧電体11は、圧電セラミックによって形成されている。圧電セラミックは、電気・機械エネルギー変換能力が高いので、体内の深部まで到達可能な強力な超音波を発生することができると共に、受信感度も高いからである。具体的な材料としては、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛： $Pb(Ti, Zr)O_3$ ）や、同様のペロブスカイト系結晶構造を有する変成組成の材料や、PMN-PT（ $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - PbTiO_3$ 固溶体）、PNN-PT（ $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - PbTiO_3$ 固溶体）を含むリラクサ系材料等が用いられる。

10

【0019】

以下において、圧電体層11の音響インピーダンスを Z_0 とし、圧電体層11並びに電極層12及び13を含む振動子の機械共振周波数を f_0 とする。本実施形態においては、圧電体層11として、音響インピーダンス Z_0 が、例えば、23～35MRayl程度の圧電材料が用いられる。また、振動子11～13は、機械共振周波数 f_0 が、例えば、3.5MHz～12MHz程度になるように設計されている。

【0020】

第1及び第2の音響整合層14及び15は、振動子11～13の上面に配置されており、振動子と人体等の被検体との間における音響インピーダンスを整合させることにより、超音波の伝播効率を高める。

20

第1の音響整合層14は、例えば、石英ガラスや、有機材料（エポキシ樹脂、ウレタン樹脂、シリコン樹脂、アクリル樹脂等）に高い音響インピーダンスを有する材料粉末（タングステン、フェライト粉等）を混ぜ合わせた材料によって形成されている。以下において、音響整合層14の音響インピーダンスを Z_1 とする。

【0021】

また、音響整合層14の厚さ t_1 は、音響整合層14を伝播する超音波の波長を λ_1 として、整合厚 $\lambda_1/4$ の M_1 倍となるように設計されている（即ち、 $t_1 = M_1 \cdot \lambda_1 / 4$ ）。ここで、整合厚とは、音響整合層を伝播する超音波の波長の $1/4$ の厚さのことである。本願において整合厚を基準とするのは、一般的な超音波用探触子において、音響整合層はこの厚さになるように設計されるからである（非特許文献2参照）。以下において、整合厚 $\lambda_1/4$ に対する厚さ t_1 の比率 M_1 のことを、整合比ともいう。

30

【0022】

音響整合層を伝播する超音波の波長 λ_i は、媒質（音響整合層の材料）を伝播する音速 v と周波数 f とを用いて、次式（3）により表される。

$$\lambda_i = v / f \quad \dots (3)$$

また、音速 v は、媒質の体積弾性率を K 、密度を ρ とする場合に、次式（4）により表される。

$$v = (K / \rho)^{1/2} \quad \dots (4)$$

結局、式（3）及び（4）より、波長 λ_i は、次式（5）により表される。

$$\lambda_i = (K / \rho)^{1/2} / f \quad \dots (5)$$

40

【0023】

従って、音響整合層14を伝播する超音波の波長 λ_1 は、音響整合層14を構成する材料の体積弾性率を K_1 、密度を ρ_1 とすると、式（5）及び振動子11～13の機械共振周波数 f_0 を用いて、次式により表される。

$$\lambda_1 = (K_1 / \rho_1)^{1/2} / f_0$$

【0024】

第2の音響整合層15は、例えば、有機材料（エポキシ樹脂、ウレタン樹脂、シリコン樹脂、アクリル樹脂等）のように、第1の音響整合層14よりも音響インピーダンスが低い材料によって形成されている。以下において、音響整合層15の音響インピーダンスを Z_2 とする。

50

【 0 0 2 5 】

また、音響整合層 1 5 の厚さ t_2 は、音響整合層 1 5 を伝播する超音波の波長を λ_2 とし、整合厚 $\lambda_2 / 4$ の M_2 倍となるように設計されている（即ち、 $t_2 = M_2 \cdot \lambda_2 / 4$ ）。波長 λ_2 は、音響整合層 1 5 を構成する材料の体積弾性率を K_2 、密度を ρ_2 とすると、式（ 5 ）及び振動子 1 1 ～ 1 3 の機械共振周波数 f_0 を用いて、次式により表される。

$$\lambda_2 = (K_2 / \rho_2)^{1/2} / f_0$$

なお、音響インピーダンス Z_1 及び Z_2 、並びに、整合比 M_1 及び M_2 の条件については、後で詳しく説明する。

【 0 0 2 6 】

バッキング層 1 6 は、振動子 1 1 ～ 1 3 の下面（即ち、音響整合層 1 4 及び 1 5 の反対側の面）に配置されており、振動子 1 1 ～ 1 3 から発生した不要な超音波を減衰させる。バッキング層 1 6 は、エポキシ樹脂やゴム等のように、音響減衰の大きい材料によって形成されている。以下において、バッキング層 1 6 の音響インピーダンスを Z_B とする。

【 0 0 2 7 】

充填材 1 7 は、複数の圧電振動子の間における干渉を低減し、振動子 1 1 ～ 1 3 の横方向の振動を抑えることにより、振動子 1 1 ～ 1 3 が縦方向に振動するようにする。音響レンズ 1 8 は、所望の深度に焦点を形成するように、超音波を収束させる。

【 0 0 2 8 】

本実施形態においては、このような構成を有する超音波用探触子において、超音波の広帯域な周波数特性を実現させるために、バッキング層 1 6 及び 2 つの音響整合層 1 4 及び 1 5 を次のような方法を用いて設計している。なお、以下においては、音響レンズ 1 8 を配置しない場合について説明する。

【 0 0 2 9 】

まず、超音波用探触子の周波数特性を算出する方法について説明する。超音波用探触子に含まれている各構成要素を等価的な四端子回路に置き換えることにより、超音波の伝送系を、バッキング層、圧電振動子、音響整合層が直列に接続された四端子回路網と考える。各構成要素は固有の音響インピーダンスを有しており、超音波の伝送系を介して超音波を送信又は受信する際に、特有の周波数特性が生じる。従って、この四端子回路網の一端に電圧を入力すると共に、他端を被検体の等価回路によって終端することにより、超音波用探触子の発振性能を送受波特性 $V T G$ (Voltage Transfer Gain) として算出することができる。

【 0 0 3 0 】

伝送系の入力インピーダンス Z は次式（ 6 ）により表される。

【数 2】

$$Z = \frac{V}{I} = \Omega \left\{ \frac{(m_B + m_A) \sin \gamma + j2(1 - \cos \gamma)}{(1 + m_B m_A) \sin \gamma - j(m_B + m_A) \cos \gamma} - j \left(\frac{\pi}{K^2} \right) \right\} \quad \dots (6)$$

ここで、

【数 3】

$$\Omega = \left(\frac{K^2}{\omega_0 C_0} \right) \left(\frac{1}{\gamma} \right)$$

$$\gamma = \pi \left(\frac{f}{f_0} \right)$$

10

20

30

40

50

【数 4】

$$m_A = k_A \left(\frac{Z_A}{Z_0} \right)$$

$$m_B = k_B \left(\frac{Z_B}{Z_0} \right)$$

である。また、 K は電気機械結合定数を表し、 Z_0 は圧電振動子の音響インピーダンスを表し、 Z_A は音響整合層の音響インピーダンスを表し、 Z_B はバックング層の音響インピーダンスを表し、 f_0 は圧電振動子の機械共振周波数を表し、 ω_0 は $2\pi f_0$ を表し、 C_0 は容量値を表している。さらに、 k_A 、 k_B は、圧電振動子の厚さに対する音響整合層の厚さ及びバックング層の厚さからそれぞれ決定されるパラメータである。

【0031】

この等価回路を2層構造の音響整合層に適用したシミュレーションを行うために、超音波の伝送系を、バックング層、圧電振動子、第1の音響整合層、第2の音響整合層が直列に接続された四端子回路網と考える。この伝送モデルにおいて、送信音圧と受信音圧とが等しいものとする、伝送系の入力インピーダンス及び四端子回路網の定数に基づいて、信号伝達関数 T が求められる。この信号伝達関数 T に対して、各周波数において $20 \cdot \log(T)$ を計算することにより、送受波特性 VTG が求められる。

【0032】

このような周波数特性の算出手法を用い、下記の5つのパラメータを変化させることにより、超音波用探触子から発生する超音波の周波数特性をシミュレーションにより求める。

(i) バックング層16の音響インピーダンス Z_B （例えば、 $Z_B = 5 \text{ MRayl}$ 、 10 MRayl 、 15 MRayl 、 20 MRayl ）

(ii) 音響整合層14の音響インピーダンス Z_1 （ 4 MRayl 、 30 MRayl ）

(ii) 音響整合層15の音響インピーダンス Z_2 （ 1 MRayl 、 8 MRayl ）

(iv) 音響整合層14の厚さ t_1 （或いは、整合比 M_1 、 0.4 、 1.6 ）

(v) 音響整合層15の厚さ t_2 （或いは、整合比 M_2 、 0.4 、 1.6 ）

【0033】

図2～図11は、このようなシミュレーションの結果を示している。各図において、整合比 M_1 及び M_2 によって特定される各欄には、2つの音響整合層14及び15の整合比をそれぞれ M_1 及び M_2 とした場合に、最も良い周波数帯域幅を得ることができた音響インピーダンス Z_1 及び Z_2 の組合せと、その帯域幅(%)とが示されている。例えば、図3に示す左下の欄($M_1 = 0.4$ 、 $M_2 = 0.4$)において、音響整合層14の整合比を $M_1 = 0.4$ 、音響インピーダンスを $Z_1 = 4 \text{ MRayl} \sim 6 \text{ MRayl}$ とし、音響整合層15の整合比を $M_2 = 0.4$ 、音響インピーダンスを $Z_2 = 7 \text{ MRayl} \sim 8 \text{ MRayl}$ とした場合に、最大で50%以上の周波数帯域幅が得られている。

【0034】

図2及び図3は、バックング層16の音響インピーダンスを $Z_B = 5 \text{ MRayl}$ とした場合におけるシミュレーション結果を示している。

この場合には、2つの音響整合層14及び15の整合比を(M_1 , M_2) = (1.0, 1.0)としたときに(図2に示す太枠内)、 $Z_1 = 20 \text{ MRayl} \sim 24 \text{ MRayl}$ 、且つ、 $Z_2 = 4 \text{ MRayl} \sim 5 \text{ MRayl}$ 付近で最大80%以上の周波数帯域幅が得られた。しかしながら、それ以外の範囲については、狭い範囲において70%以上の帯域が得られたに過ぎなかった(例えば、(M_1 , M_2) = (1.2, 1.0)としたときに(12, $Z_1 = 14$, $Z_2 = 3$)付近、(M_1 , M_2) = (1.2, 1.2)としたときに(12, $Z_1 = 18$, $Z_2 = 4$)付近、(M_1 , M_2) = (1.2, 1.0)としたときに(12, $Z_1 = 14$, $Z_2 = 3$)付近)。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

図 4 及び図 5 は、バックング層 1 6 の音響インピーダンスを $Z_B = 10 \text{ M R a y l}$ とした場合におけるシミュレーション結果を示している。

この場合には、整合比を $(M_1, M_2) = (0.8, 0.8)$ 、 $(0.8, 1.0)$ 、 $(1.0, 0.6)$ 、 $(1.0, 0.8)$ 、 $(1.2, 0.6)$ 、 $(1.2, 1.2)$ としたときに、最大 80 % 以上の周波数帯域幅が得られた。これより、整合比を $(M_1, M_2) = (1.0, 1.0)$ からずらした場合においても、比較的高い周波数帯域幅を得ることがわかった。また、整合比を $(M_1, M_2) = (1.2, 1.0)$ 、 $(1.2, 1.2)$ 、 $(1.0, 1.2)$ とした場合（図 4 に示す太枠内）には、比較的まとまった領域において 70 % 以上又は 80 % 以上の周波数帯域が得られていた。

10

【 0 0 3 6 】

図 6 ~ 図 8 は、バックング層 1 6 の音響インピーダンスを $Z_B = 15 \text{ M R a y l}$ とした場合におけるシミュレーション結果を示している。

この場合には、整合比を $(M_1, M_2) = (0.4, 1.6)$ 、 $(0.6, 1.4 \sim 1.6)$ 、 $(0.8, 1.2 \sim 1.4)$ 、 $(1.0, 1.0 \sim 1.4)$ 、 $(1.2, 0.8 \sim 1.0)$ 、 $(1.4, 0.6 \sim 0.8)$ 、 $(1.6, 0.6)$ としたときに、90 % 以上の周波数帯域幅が得られた。それらの内でも、整合比を $(M_1, M_2) = (0.6, 1.6)$ 、 $(0.8, 1.4)$ 、 $(1.0, 1.2)$ 、 $(1.2, 1.0)$ 、 $(1.4, 0.8)$ 、 $(1.6, 0.6)$ としたときに（図 6 ~ 図 8 に示す太枠内）、100 % 以上の周波数帯域幅を得ることができた。また、これらの場合には、音響インピーダンス (Z_1, Z_2) の組合せの広い範囲において、概ね 70 % 以上、その内の広い範囲で 80 % 以上の周波数帯域が得られていた。

20

【 0 0 3 7 】

図 9 ~ 図 11 は、バックング層 1 6 の音響インピーダンスを $Z_B = 20 \text{ M R a y l}$ とした場合におけるシミュレーション結果を示している。

この場合には、整合比を $(M_1, M_2) = (0.4, 1.6)$ 、 $(0.6, 1.0 \sim 1.6)$ 、 $(0.8, 1.2 \sim 1.6)$ 、 $(1.0, 1.0 \sim 1.6)$ 、 $(1.2, 0.8 \sim 1.6)$ 、 $(1.4, 0.6 \sim 1.0)$ 、 $(1.6, 0.4 \sim 0.8)$ としたときに、90 % 以上の周波数帯域幅が得られた。それらの内でも、整合比を $(M_1, M_2) = (0.6, 1.6)$ 、 $(0.8, 1.4 \sim 1.6)$ 、 $(1.0, 1.2)$ 、 $(1.2, 1.0)$ 、 $(1.4, 0.8)$ 、 $(1.6, 0.6 \sim 0.8)$ としたときに（図 9 ~ 図 11 に示す太枠内）、100 % 以上の周波数帯域幅を得ることができた。また、これらの場合には、音響インピーダンス (Z_1, Z_2) の組合せの広い範囲において、概ね 70 % 以上、その内の広い範囲で 80 % 以上の周波数帯域が得られていた。

30

【 0 0 3 8 】

次に、図 4 ~ 図 11 に示す結果に基づいて、良好な周波数帯域幅を得るために必要な条件を求めた。なお、以下においては、比較的広い範囲で概ね 80 % 以上（部分的に 70 % 以上）の周波数帯域が得られる場合を比較的良好な周波数帯域幅としており、音響インピーダンス Z_1 及び Z_2 が取り得る範囲が $\Delta Z_1 = 8 (\text{M R a y l})$ 、 $\Delta Z_2 = 3 (\text{M R a y l})$ である場合を比較的広い範囲としている。

40

【 0 0 3 9 】

図 4 ~ 図 11 より、比較的良好な周波数帯域が得られる整合比 M_1 及び M_2 の組合せは、一方の整合比が大きくなれば他方の整合比が小さくなる関係にあるものと考えられる。そこで解析を行ったところ、次式 (7) に示す関係が見出された。なお、式 (7) は、圧電体層 1 1 の音響インピーダンス Z_0 によって規格化されている。

$$2 < M_1 + M_2 \leq 2 + 0.68 (Z_B / Z_0) \quad \dots (7)$$

【 0 0 4 0 】

さらに、式 (7) を満たす整合比の組合せ (M_1, M_2) の範囲内において、比較的良好な周波数帯域が得られる音響インピーダンス Z_1 及び Z_2 に関する解析を行ったところ、次式 (8) に示す関係が得られた。なお、式 (8) は、圧電体層 1 1 の音響インピーダ

50

ンス Z_0 によって規格化されている。

【数 5】

$$\frac{1}{2} \frac{Z_1}{Z_0} - \frac{2}{5} (2 - M_1) \frac{Z_B}{Z_0} + \frac{3}{34} M_1 - \frac{15}{34} \leq \frac{Z_2}{Z_0} \leq \frac{1}{2} \frac{Z_1}{Z_0} - \frac{2}{5} \frac{Z_B}{Z_0} + \frac{10}{34} \quad \dots (8)$$

【0041】

そこで、条件式(7)及び(8)を満たすパラメータを選択して超音波用探触子を実際に作製し、周波数特性を測定する実験を行った。この実験においては、各パラメータを次のように設定した。 10

振動子：音響インピーダンス $Z_0 = 34 \text{ MRayl}$

バック層：音響インピーダンス $Z_B = 20 \text{ MRayl}$

第1の音響整合層：音響インピーダンス $Z_1 = 8 \text{ MRayl}$ 、整合比 $M_1 = 0.8$

第2の音響整合層：音響インピーダンス $Z_2 = 4 \text{ MRayl}$ 、整合比： $M_2 = 1.4$

【0042】

図12は、その実験結果を示している。図12において、横軸は周波数(MHz)を示し、縦軸は送信超音波の強度(任意の単位)を示している。図12に示すように、この超音波用探触子においては、約3MHzから約10MHzに渡る広い周波数帯域を得ることができた。この超音波用探触子の周波数帯域幅は、設計値100%に対して、実測値は110%であった。 20

【0043】

以上説明したように、本実施形態によれば、音響整合層を2層構造とする場合に、バック層の音響インピーダンスと、第1の音響整合層及び第2の音響整合層の厚さ及び音響インピーダンスとを適切に組み合わせることにより、超音波用探触子の広帯域化を実現することが可能となる。

【0044】

本実施形態においては、図1に示すように、複数の振動子が平面上に1列に配列されたりニアレイ型探触子について説明したが、本発明は、振動子が凸面上に配列されたコンベックスアレイ型探触子や、円環状の振動子が同心円状に配列されたアニュラレイ型探触子や、複数の振動子が2次元状に配列された2次元アレイ型探触子や、体腔内においてラジアル走査を行う体腔内探触子等の様々な探触子に適用することが可能である。 30

【産業上の利用可能性】

【0045】

本発明は、超音波を送受信する圧電振動子と、不要な振動を制動するためのバック層と、音響インピーダンスの整合を図るための音響整合層とを有し、医療用の超音波診断装置等において用いられる超音波用探触子において利用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】本発明の一実施形態に係る超音波用探触子の構造を示す一部断面斜視図である。 40

【図2】バック層の音響インピーダンスが $Z_B = 5 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 1.6 \sim 1.0$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図3】バック層の音響インピーダンスが $Z_B = 5 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 0.8 \sim 0.4$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図4】バック層の音響インピーダンスが $Z_B = 10 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 1.6 \sim 1.0$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】バック層の音響インピーダンスが $Z_B = 10 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 0.8 \sim 0.4$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図6】バック層の音響インピーダンスが $Z_B = 15 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 1.6 \sim 1.2$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。 50

【図 7】バックング層の音響インピーダンスが $Z_B = 15 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 1.0 \sim 0.8$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図 8】バックング層の音響インピーダンスが $Z_B = 15 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 0.6 \sim 0.4$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図 9】バックング層の音響インピーダンスが $Z_B = 20 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 1.6 \sim 1.4$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図 10】バックング層の音響インピーダンスが $Z_B = 20 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 1.2 \sim 1.0$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図 11】バックング層の音響インピーダンスが $Z_B = 20 \text{ MRayl}$ の場合 ($M_2 = 0.8 \sim 0.4$) における送受波特性のシミュレーション結果を示す図である。

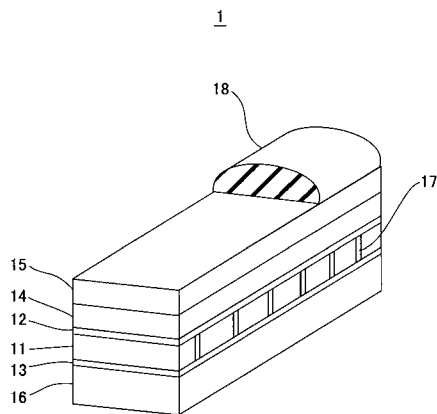
【図 12】式 (7) 及び (8) を満たすパラメータに基づいて作製された超音波用探触子の周波数特性を示す図である。

【符号の説明】

【0047】

- 1 超音波用探触子
- 11 圧電体
- 12、13 電極
- 14 第 1 の音響整合層
- 15 第 2 の音響整合層
- 16 バックング層
- 17 充填材
- 18 音響レンズ

【図 1】



【図 2】

$Z_B=5(\text{Mrayl}) (M_2=1.6\sim 1.0)$		M_1						
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
1.6	$(29\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で40%以上	$(29\leq Z_1\leq 30, Z_2=6)$ 付近で40%以上	$(29\leq Z_1\leq 30, Z_2=6)$ 付近で40%以上	$(29\leq Z_1\leq 30, Z_2=6)$ 付近で40%以上	$(6\leq Z_1\leq 8, 1\leq Z_2\leq 3)$ 付近50%以上	$(8\leq Z_1\leq 10, 2\leq Z_2\leq 3)$ 付近で50%以上	$(6\leq Z_1\leq 12, 2\leq Z_2\leq 3)$ 付近で50%以上	$(12\leq Z_1\leq 14, 3\leq Z_2\leq 4)$ 付近で50%以上
	$(16\leq Z_1\leq 20, Z_2=6)$ 付近で50%以上	$(16\leq Z_1\leq 30, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で40%以上	$(18\leq Z_1\leq 30, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で40%以上	$(18\leq Z_1\leq 30, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で40%以上	$(9\leq Z_1\leq 10, Z_2=2)$ 付近で60%以上	$(10\leq Z_1\leq 14, 2\leq Z_2\leq 3)$ 付近で60%以上	$(12\leq Z_1\leq 16, 2\leq Z_2\leq 3)$ 付近で60%以上	$(9\leq Z_1\leq 16, 3\leq Z_2\leq 4)$ 付近で50%以上
1.4	$(22\leq Z_1\leq 28, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で50%以上	$(26\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で40%以上	$(26\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で40%以上	$(26\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で40%以上	$(22\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で40%以上	$(22\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で40%以上	$(10\leq Z_1\leq 12, 3\leq Z_2\leq 4)$ 付近で50%以上	$(10\leq Z_1\leq 16, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で50%以上
	$(10\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で60%以上	$(12\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で50%以上	$(16\leq Z_1\leq 24, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で50%以上	$(16\leq Z_1\leq 30, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で50%以上	$(12\leq Z_1\leq 14, Z_2=3)$ 付近で70%以上	$(12\leq Z_1\leq 18, 3\leq Z_2\leq 4)$ 付近で70%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上
1.2	$(7\leq Z_1\leq 8, 7\leq Z_2\leq 8)$ 付近で50%以上	$(20\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で50%以上	$(20\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で50%以上	$(22\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で50%以上	$(22\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で50%以上	$(22\leq Z_1\leq 30, 6\leq Z_2\leq 7)$ 付近で50%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上
	$(6\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 7)$ 付近で80%以上	$(18\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(18\leq Z_1\leq 28, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(18\leq Z_1\leq 28, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(20\leq Z_1\leq 24, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で80%以上	$(12\leq Z_1\leq 14, Z_2=3)$ 付近で70%以上	$(8\leq Z_1\leq 20, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で50%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上
1.0	$(6\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 7)$ 付近で80%以上	$(18\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(18\leq Z_1\leq 28, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(18\leq Z_1\leq 28, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(20\leq Z_1\leq 24, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で80%以上	$(12\leq Z_1\leq 14, Z_2=3)$ 付近で70%以上	$(8\leq Z_1\leq 20, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で50%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上
	$(6\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 7)$ 付近で80%以上	$(18\leq Z_1\leq 30, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(18\leq Z_1\leq 28, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(18\leq Z_1\leq 28, 5\leq Z_2\leq 6)$ 付近で60%以上	$(20\leq Z_1\leq 24, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で80%以上	$(12\leq Z_1\leq 14, Z_2=3)$ 付近で70%以上	$(8\leq Z_1\leq 20, 4\leq Z_2\leq 5)$ 付近で50%以上	$(2\leq Z_1\leq 2, Z_2=1)$ 付近で50%以上

【 図 3 】

$Z_0=5(M_{ray})$ ($M_2=0.8\sim0.4$)

	$(15 \leq Z_1 \leq 16, Z_2=7)$ 付近で60%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 18, 5 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で60%以上	$(13 \leq Z_1 \leq 15, 3 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で60%以上	$(9 \leq Z_1 \leq 11, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(Z_1=10, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 5, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で40%以上	$(Z_1=4, Z_2=1)$ 付近で40%以上
0.8							
M_2							
0.6	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 5 \leq Z_2 \leq 7)$ 付近で50%以上	$(11 \leq Z_1 \leq 12, Z_2=6)$ 付近で60%以上	$(10 \leq Z_1 \leq 12, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で60%以上	$(Z_1=10, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で50%以上	$(Z_1=6, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で40%以上	$(Z_1=4, Z_2=1)$ 付近で40%以上
0.4	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 7 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で50%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 5 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で50%以上	$(Z_1=10, 4 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で60%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 1 \leq Z_2 \leq 10)$ 付近で60%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 1 \leq Z_2 \leq 10)$ 付近で60%以上	$(Z_1=6, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で40%以上	$(Z_1=4, Z_2=1)$ 付近で40%以上
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
	M_1						

【 図 4 】

$Z_0=10(M_{ray})$ ($M_2=1.6\sim1.0$)

	$(10 \leq Z_1 \leq 12, 6 \leq Z_2 \leq 7)$ 付近で70%以上	$(13 \leq Z_1 \leq 16, Z_2=6)$ 付近で70%以上	$(16 \leq Z_1 \leq 20, 2 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で60%以上	$(9 \leq Z_1 \leq 12, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(10 \leq Z_1 \leq 14, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で70%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 18, Z_2=3)$ 付近で70%以上	$(20 \leq Z_1 \leq 22, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で80%以上
1.6							
M_2							
1.4	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 5 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で70%以上	$(Z_1=8, Z_2=6)$ 付近で70%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 22, 5 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で60%以上	$(8 \leq Z_1 \leq 14, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 20, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で70%以上	$(23 \leq Z_1 \leq 25, Z_2=4)$ 付近で80%以上	$(28 \leq Z_1 \leq 30, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で80%以上
1.2	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で70%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で70%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 10, 4 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で60%以上	$(11 \leq Z_1 \leq 16, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(20 \leq Z_1 \leq 30, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で80%以上	$(15 \leq Z_1 \leq 22, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で70%以上	$(9 \leq Z_1 \leq 12, Z_2=2)$ 付近で60%以上
1.0	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で70%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で70%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 10, 4 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で60%以上	$(11 \leq Z_1 \leq 16, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(20 \leq Z_1 \leq 30, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で80%以上	$(15 \leq Z_1 \leq 22, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で70%以上	$(9 \leq Z_1 \leq 12, Z_2=2)$ 付近で60%以上
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
	M_1						

【 図 5 】

$Z_0=10(M_{ray})$ ($M_2=0.8\sim0.4$)

	$(14 \leq Z_1 \leq 30, 5 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で60%以上	$(20 \leq Z_1 \leq 28, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で80%以上	$(8 \leq Z_1 \leq 14, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(7 \leq Z_1 \leq 12, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で60%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 10, Z_2=2)$ 付近で60%以上
0.8					
M_2					
0.6	$(Z_1=16, Z_2=8)$ 付近で70%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 16, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で70%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 6 \leq Z_2 \leq 7)$ 付近で80%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で70%以上	$(5 \leq Z_1 \leq 10, Z_2=2)$ 付近で60%以上
0.4	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 7 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で60%以上	$(8 \leq Z_1 \leq 12, 2 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で70%以上	$(10 \leq Z_1 \leq 12, 2 \leq Z_2 \leq 7)$ 付近で70%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 10, 7 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で70%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で70%以上
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
	M_1				

【 図 6 】

$Z_0=15(M_{ray})$ ($M_2=1.6\sim1.2$)

	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 5 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で90%以上	$(Z_1=10, Z_2=4)$ 付近で80%以上	$(26 \leq Z_1 \leq 26, Z_2=3)$ 付近で80%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 24, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で80%以上	$(22 \leq Z_1 \leq 26, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で80%以上
1.6					
M_2					
1.4	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 5 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で90%以上	$(Z_1=10, Z_2=4)$ 付近で80%以上	$(26 \leq Z_1 \leq 26, Z_2=3)$ 付近で80%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 24, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で80%以上	$(22 \leq Z_1 \leq 26, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で80%以上
1.2	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 5 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で90%以上	$(Z_1=10, Z_2=4)$ 付近で80%以上	$(26 \leq Z_1 \leq 26, Z_2=3)$ 付近で80%以上	$(14 \leq Z_1 \leq 24, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で80%以上	$(22 \leq Z_1 \leq 26, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で80%以上
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
	M_1				

【 図 7 】

[illegible]

【 図 9 】

$Z_B=20(M_{\text{ray}}) \quad (M_B=1.6 \sim 1.4)$					
1.6	$(Z_1 \leq 4, 4 \leq Z_2 \leq 8, 8 \leq Z_3 \leq 10, 10 \leq Z_4 \leq 16, 16 \leq Z_5 \leq 22, 22 \leq Z_6 \leq 28, 28 \leq Z_7 \leq 30, 30 \leq Z_8 \leq 36, 36 \leq Z_9 \leq 42, 42 \leq Z_{10} \leq 48, 48 \leq Z_{11} \leq 54, 54 \leq Z_{12} \leq 60, 60 \leq Z_{13} \leq 66, 66 \leq Z_{14} \leq 72, 72 \leq Z_{15} \leq 78, 78 \leq Z_{16} \leq 84, 84 \leq Z_{17} \leq 90, 90 \leq Z_{18} \leq 96, 96 \leq Z_{19} \leq 102, 102 \leq Z_{20} \leq 108, 108 \leq Z_{21} \leq 114, 114 \leq Z_{22} \leq 120, 120 \leq Z_{23} \leq 126, 126 \leq Z_{24} \leq 132, 132 \leq Z_{25} \leq 138, 138 \leq Z_{26} \leq 144, 144 \leq Z_{27} \leq 150, 150 \leq Z_{28} \leq 156, 156 \leq Z_{29} \leq 162, 162 \leq Z_{30} \leq 168, 168 \leq Z_{31} \leq 174, 174 \leq Z_{32} \leq 180, 180 \leq Z_{33} \leq 186, 186 \leq Z_{34} \leq 192, 192 \leq Z_{35} \leq 198, 198 \leq Z_{36} \leq 204, 204 \leq Z_{37} \leq 210, 210 \leq Z_{38} \leq 216, 216 \leq Z_{39} \leq 222, 222 \leq Z_{40} \leq 228, 228 \leq Z_{41} \leq 234, 234 \leq Z_{42} \leq 240, 240 \leq Z_{43} \leq 246, 246 \leq Z_{44} \leq 252, 252 \leq Z_{45} \leq 258, 258 \leq Z_{46} \leq 264, 264 \leq Z_{47} \leq 270, 270 \leq Z_{48} \leq 276, 276 \leq Z_{49} \leq 282, 282 \leq Z_{50} \leq 288, 288 \leq Z_{51} \leq 294, 294 \leq Z_{52} \leq 300, 300 \leq Z_{53} \leq 306, 306 \leq Z_{54} \leq 312, 312 \leq Z_{55} \leq 318, 318 \leq Z_{56} \leq 324, 324 \leq Z_{57} \leq 330, 330 \leq Z_{58} \leq 336, 336 \leq Z_{59} \leq 342, 342 \leq Z_{60} \leq 348, 348 \leq Z_{61} \leq 354, 354 \leq Z_{62} \leq 360, 360 \leq Z_{63} \leq 366, 366 \leq Z_{64} \leq 372, 372 \leq Z_{65} \leq 378, 378 \leq Z_{66} \leq 384, 384 \leq Z_{67} \leq 390, 390 \leq Z_{68} \leq 396, 396 \leq Z_{69} \leq 402, 402 \leq Z_{70} \leq 408, 408 \leq Z_{71} \leq 414, 414 \leq Z_{72} \leq 420, 420 \leq Z_{73} \leq 426, 426 \leq Z_{74} \leq 432, 432 \leq Z_{75} \leq 438, 438 \leq Z_{76} \leq 444, 444 \leq Z_{77} \leq 450, 450 \leq Z_{78} \leq 456, 456 \leq Z_{79} \leq 462, 462 \leq Z_{80} \leq 468, 468 \leq Z_{81} \leq 474, 474 \leq Z_{82} \leq 480, 480 \leq Z_{83} \leq 486, 486 \leq Z_{84} \leq 492, 492 \leq Z_{85} \leq 498, 498 \leq Z_{86} \leq 504, 504 \leq Z_{87} \leq 510, 510 \leq Z_{88} \leq 516, 516 \leq Z_{89} \leq 522, 522 \leq Z_{90} \leq 528, 528 \leq Z_{91} \leq 534, 534 \leq Z_{92} \leq 540, 540 \leq Z_{93} \leq 546, 546 \leq Z_{94} \leq 552, 552 \leq Z_{95} \leq 558, 558 \leq Z_{96} \leq 564, 564 \leq Z_{97} \leq 570, 570 \leq Z_{98} \leq 576, 576 \leq Z_{99} \leq 582, 582 \leq Z_{100} \leq 588, 588 \leq Z_{101} \leq 594, 594 \leq Z_{102} \leq 600, 600 \leq Z_{103} \leq 606, 606 \leq Z_{104} \leq 612, 612 \leq Z_{105} \leq 618, 618 \leq Z_{106} \leq 624, 624 \leq Z_{107} \leq 630, 630 \leq Z_{108} \leq 636, 636 \leq Z_{109} \leq 642, 642 \leq Z_{110} \leq 648, 648 \leq Z_{111} \leq 654, 654 \leq Z_{112} \leq 660, 660 \leq Z_{113} \leq 666, 666 \leq Z_{114} \leq 672, 672 \leq Z_{115} \leq 678, 678 \leq Z_{116} \leq 684, 684 \leq Z_{117} \leq 690, 690 \leq Z_{118} \leq 696, 696 \leq Z_{119} \leq 702, 702 \leq Z_{120} \leq 708, 708 \leq Z_{121} \leq 714, 714 \leq Z_{122} \leq 720, 720 \leq Z_{123} \leq 726, 726 \leq Z_{124} \leq 732, 732 \leq Z_{125} \leq 738, 738 \leq Z_{126} \leq 744, 744 \leq Z_{127} \leq 750, 750 \leq Z_{128} \leq 756, 756 \leq Z_{129} \leq 762, 762 \leq Z_{130} \leq 768, 768 \leq Z_{131} \leq 774, 774 \leq Z_{132} \leq 780, 780 \leq Z_{133} \leq 786, 786 \leq Z_{134} \leq 792, 792 \leq Z_{135} \leq 798, 798 \leq Z_{136} \leq 804, 804 \leq Z_{137} \leq 810, 810 \leq Z_{138} \leq 816, 816 \leq Z_{139} \leq 822, 822 \leq Z_{140} \leq 828, 828 \leq Z_{141} \leq 834, 834 \leq Z_{142} \leq 840, 840 \leq Z_{143} \leq 846, 846 \leq Z_{144} \leq 852, 852 \leq Z_{145} \leq 858, 858 \leq Z_{146} \leq 864, 864 \leq Z_{147} \leq 870, 870 \leq Z_{148} \leq 876, 876 \leq Z_{149} \leq 882, 882 \leq Z_{150} \leq 888, 888 \leq Z_{151} \leq 894, 894 \leq Z_{152} \leq 900, 900 \leq Z_{153} \leq 906, 906 \leq Z_{154} \leq 912, 912 \leq Z_{155} \leq 918, 918 \leq Z_{156} \leq 924, 924 \leq Z_{157} \leq 930, 930 \leq Z_{158} \leq 936, 936 \leq Z_{159} \leq 942, 942 \leq Z_{160} \leq 948, 948 \leq Z_{161} \leq 954, 954 \leq Z_{162} \leq 960, 960 \leq Z_{163} \leq 966, 966 \leq Z_{164} \leq 972, 972 \leq Z_{165} \leq 978, 978 \leq Z_{166} \leq 984, 984 \leq Z_{167} \leq 990, 990 \leq Z_{168} \leq 996, 996 \leq Z_{169} \leq 1002, 1002 \leq Z_{170} \leq 1008, 1008 \leq Z_{171} \leq 1014, 1014 \leq Z_{172} \leq 1020, 1020 \leq Z_{173} \leq 1026, 1026 \leq Z_{174} \leq 1032, 1032 \leq Z_{175} \leq 1038, 1038 \leq Z_{176} \leq 1044, 1044 \leq Z_{177} \leq 1050, 1050 \leq Z_{178} \leq 1056, 1056 \leq Z_{179} \leq 1062, 1062 \leq Z_{180} \leq 1068, 1068 \leq Z_{181} \leq 1074, 1074 \leq Z_{182} \leq 1080, 1080 \leq Z_{183} \leq 1086, 1086 \leq Z_{184} \leq 1092, 1092 \leq Z_{185} \leq 1098, 1098 \leq Z_{186} \leq 1104, 1104 \leq Z_{187} \leq 1110, 1110 \leq Z_{188} \leq 1116, 1116 \leq Z_{189} \leq 1122, 1122 \leq Z_{190} \leq 1128, 1128 \leq Z_{191} \leq 1134, 1134 \leq Z_{192} \leq 1140, 1140 \leq Z_{193} \leq 1146, 1146 \leq Z_{194} \leq 1152, 1152 \leq Z_{195} \leq 1158, 1158 \leq Z_{196} \leq 1164, 1164 \leq Z_{197} \leq 1170, 1170 \leq Z_{198} \leq 1176, 1176 \leq Z_{199} \leq 1182, 1182 \leq Z_{200} \leq 1188, 1188 \leq Z_{201} \leq 1194, 1194 \leq Z_{202} \leq 1200, 1200 \leq Z_{203} \leq 1206, 1206 \leq Z_{204} \leq 1212, 1212 \leq Z_{205} \leq 1218, 1218 \leq Z_{206} \leq 1224, 1224 \leq Z_{207} \leq 1230, 1230 \leq Z_{208} \leq 1236, 1236 \leq Z_{209} \leq 1242, 1242 \leq Z_{210} \leq 1248, 1248 \leq Z_{211} \leq 1254, 1254 \leq Z_{212} \leq 1260, 1260 \leq Z_{213} \leq 1266, 1266 \leq Z_{214} \leq 1272, 1272 \leq Z_{215} \leq 1278, 1278 \leq Z_{216} \leq 1284, 1284 \leq Z_{217} \leq 1290, 1290 \leq Z_{218} \leq 1296, 1296 \leq Z_{219} \leq 1302, 1302 \leq Z_{220} \leq 1308, 1308 \leq Z_{221} \leq 1314, 1314 \leq Z_{222} \leq 1320, 1320 \leq Z_{223} \leq 1326, 1326 \leq Z_{224} \leq 1332, 1332 \leq Z_{225} \leq 1338, 1338 \leq Z_{226} \leq 1344, 1344 \leq Z_{227} \leq 1350, 1350 \leq Z_{228} \leq 1356, 1356 \leq Z_{229} \leq 1362, 1362 \leq Z_{230} \leq 1368, 1368 \leq Z_{231} \leq 1374, 1374 \leq Z_{232} \leq 1380, 1380 \leq Z_{233} \leq 1386, 1386 \leq Z_{234} \leq 1392, 1392 \leq Z_{235} \leq 1398, 1398 \leq Z_{236} \leq 1404, 1404 \leq Z_{237} \leq 1410, 1410 \leq Z_{238} \leq 1416, 1416 \leq Z_{239} \leq 1422, 1422 \leq Z_{240} \leq 1428, 1428 \leq Z_{241} \leq 1434, 1434 \leq Z_{242} \leq 1440, 1440 \leq Z_{243} \leq 1446, 1446 \leq Z_{244} \leq 1452, 1452 \leq Z_{245} \leq 1458, 1458 \leq Z_{246} \leq 1464, 1464 \leq Z_{247} \leq 1470, 1470 \leq Z_{248} \leq 1476, 1476 \leq Z_{249} \leq 1482, 1482 \leq Z_{250} \leq 1488, 1488 \leq Z_{251} \leq 1494, 1494 \leq Z_{252} \leq 1500, 1500 \leq Z_{253} \leq 1506, 1506 \leq Z_{254} \leq 1512, 1512 \leq Z_{255} \leq 1518, 1518 \leq Z_{256} \leq 1524, 1524 \leq Z_{257} \leq 1530, 1530 \leq Z_{258} \leq 1536, 1536 \leq Z_{259} \leq 1542, 1542 \leq Z_{260} \leq 1548, 1548 \leq Z_{261} \leq 1554, 1554 \leq Z_{262} \leq 1560, 1560 \leq Z_{263} \leq 1566, 1566 \leq Z_{264} \leq 1572, 1572 \leq Z_{265} \leq 1578, 1578 \leq Z_{266} \leq 1584, 1584 \leq Z_{267} \leq 1590, 1590 \leq Z_{268} \leq 1596, 1596 \leq Z_{269} \leq 1602, 1602 \leq Z_{270} \leq 1608, 1608 \leq Z_{271} \leq 1614, 1614 \leq Z_{272} \leq 1620, 1620 \leq Z_{273} \leq 1626, 1626 \leq Z_{274} \leq 1632, 1632 \leq Z_{275} \leq 1638, 1638 \leq Z_{276} \leq 1644, 1644 \leq Z_{277} \leq 1650, 1650 \leq Z_{278} \leq 1656, 1656 \leq Z_{279} \leq 1662, 1662 \leq Z_{280} \leq 1668, 1668 \leq Z_{281} \leq 1674, 1674 \leq Z_{282} \leq 1680, 1680 \leq Z_{283} \leq 1686, 1686 \leq Z_{284} \leq 1692, 1692 \leq Z_{285} \leq 1698, 1698 \leq Z_{286} \leq 1704, 1704 \leq Z_{287} \leq 1710, 1710 \leq Z_{288} \leq 1716, 1716 \leq Z_{289} \leq 1722, 1722 \leq Z_{290} \leq 1728, 1728 \leq Z_{291} \leq 1734, 1734 \leq Z_{292} \leq 1740, 1740 \leq Z_{293} \leq 1746, 1746 \leq Z_{294} \leq 1752, 1752 \leq Z_{295} \leq 1758, 1758 \leq Z_{296} \leq 1764, 1764 \leq Z_{297} \leq 1770, 1770 \leq Z_{298} \leq 1776, 1776 \leq Z_{299} \leq 1782, 1782 \leq Z_{300} \leq 1788, 1788 \leq Z_{301} \leq 1794, 1794 \leq Z_{302} \leq 1800, 1800 \leq Z_{303} \leq 1806, 1806 \leq Z_{304} \leq 1812, 1812 \leq Z_{305} \leq 1818, 1818 \leq Z_{306} \leq 1824, 1824 \leq Z_{307} \leq 1830, 1830 \leq Z_{308} \leq 1836, 1836 \leq Z_{309} \leq 1842, 1842 \leq Z_{310} \leq 1848, 1848 \leq Z_{311} \leq 1854, 1854 \leq Z_{312} \leq 1860, 1860 \leq Z_{313} \leq 1866, 1866 \leq Z_{314} \leq 1872, 1872 \leq Z_{315} \leq 1878, 1878 \leq Z_{316} \leq 1884, 1884 \leq Z_{317} \leq 1890, 1890 \leq Z_{318} \leq 1896, 1896 \leq Z_{319} \leq 1902, 1902 \leq Z_{320} \leq 1908, 1908 \leq Z_{321} \leq 1914, 1914 \leq Z_{322} \leq 1920, 1920 \leq Z_{323} \leq 1926, 1926 \leq Z_{324} \leq 1932, 1932 \leq Z_{325} \leq 1938, 1938 \leq Z_{326} \leq 1944, 1944 \leq Z_{327} \leq 1950, 1950 \leq Z_{328} \leq 1956, 1956 \leq Z_{329} \leq 1962, 1962 \leq Z_{330} \leq 1968, 1968 \leq Z_{331} \leq 1974, 1974 \leq Z_{332} \leq 1980, 1980 \leq Z_{333} \leq 1986, 1986 \leq Z_{334} \leq 1992, 1992 \leq Z_{335} \leq 1998, 1998 \leq Z_{336} \leq 2004, 2004 \leq Z_{337} \leq 2010, 2010 \leq Z_{338} \leq 2016, 2016 \leq Z_{339} \leq 2022, 2022 \leq Z_{340} \leq 2028, 2028 \leq Z_{341} \leq 2034, 2034 \leq Z_{342} \leq 2040, 2040 \leq Z_{343} \leq 2046, 2046 \leq Z_{344} \leq 2052, 2052 \leq Z_{345} \leq 2058, 2058 \leq Z_{346} \leq 2064, 2064 \leq Z_{347} \leq 2070, 2070 \leq Z_{348} \leq 2076, 2076 \leq Z_{349} \leq 2082, 2082 \leq Z_{350} \leq 2088, 2088 \leq Z_{351} \leq 2094, 2094 \leq Z_{352} \leq 2100, 2100 \leq Z_{353} \leq 2106, 2106 \leq Z_{354} \leq 2112, 2112 \leq Z_{355} \leq 2118, 2118 \leq Z_{356} \leq 2124, 2124 \leq Z_{357} \leq 2130, 2130 \leq Z_{358} \leq 2136, 2136 \leq Z_{359} \leq 2142, 2142 \leq Z_{360} \leq 2148, 2148 \leq Z_{361} \leq 2154, 2154 \leq Z_{362} \leq 2160, 2160 \leq Z_{363} \leq 2166, 2166 \leq Z_{364} \leq 2172, 2172 \leq Z_{365} \leq 2178, 2178 \leq Z_{366} \leq 2184, 2184 \leq Z_{367} \leq 2190, 2190 \leq Z_{368} \leq 2196, 2196 \leq Z_{369} \leq 2202, 2202 \leq Z_{370} \leq 2208, 2208 \leq Z_{371} \leq 2214, 2214 \leq Z_{372} \leq 2220, 2220 \leq Z_{373} \leq 2226, 2226 \leq Z_{374} \leq 2232, 2232 \leq Z_{375} \leq 2238, 2238 \leq Z_{376} \leq 2244, 2244 \leq Z_{377} \leq 2250, 2250 \leq Z_{378} \leq 2256, 2256 \leq Z_{379} \leq 2262, 2262 \leq Z_{380} \leq 2268, 2268 \leq Z_{381} \leq 2274, 2274 \leq Z_{382} \leq 2280, 2280 \leq Z_{383} \leq 2286, 2286 \leq Z_{384} \leq 2292, 2292 \leq Z_{385} \leq 2298, 2298 \leq Z_{386} \leq 2304, 2304 \leq Z_{387} \leq 2310, 2310 \leq Z_{388} \leq 2316, 2316 \leq Z_{389} \leq 2322, 2322 \leq Z_{390} \leq 2328, 2328 \leq Z_{391} \leq 2334, 2334 \leq Z_{392} \leq 2340, 2340 \leq Z_{393} \leq 2346, 2346 \leq Z_{394} \leq 2352, 2352 \leq Z_{395} \leq 2358, 2358 \leq Z_{396} \leq 2364, 2364 \leq Z_{397} \leq 2370, 2370 \leq Z_{398} \leq 2376, 2376 \leq Z_{399} \leq 2382, 2382 \leq Z_{400} \leq 2388, 2388 \leq Z_{401} \leq 2394, 2394 \leq Z_{402} \leq 2400, 2400 \leq Z_{403} \leq 2406, 2406 \leq Z_{404} \leq 2412, 2412 \leq Z_{405} \leq 2418, 2418 \leq Z_{406} \leq 2424, 2424 \leq Z_{407} \leq 2430, 2430 \leq Z_{408} \leq 2436, 2436 \leq Z_{409} \leq 2442, 2442 \leq Z_{410} \leq 2448, 2448 \leq Z_{411} \leq 2454, 2454 \leq Z_{412} \leq 2460, 2460 \leq Z_{413} \leq 2466, 2466 \leq Z_{414} \leq 2472, 2472 \leq Z_{415} \leq 2478, 2478 \leq Z_{416} \leq 2484, 2484 \leq Z_{417} \leq 2490, 2490 \leq Z_{418} \leq 2496, 2496 \leq Z_{419} \leq 2502, 2502 \leq Z_{420} \leq 2508, 2508 \leq Z_{421} \leq 2514, 2514 \leq Z_{422} \leq 2520, 2520 \leq Z_{423} \leq 2526, 2526 \leq Z_{424} \leq 2532, 2532 \leq Z_{425} \leq 2538, 2538 \leq Z_{426} \leq 2544, 2544 \leq Z_{427} \leq 2550, 2550 \leq Z_{428} \leq 2556, 2556 \leq Z_{429} \leq 2562, 2562 \leq Z_{430} \leq 2568, 2568 \leq Z_{431} \leq 2574, 2574 \leq Z_{432} \leq 2580, 2580 \leq Z_{433} \leq 2586, 2586 \leq Z_{434} \leq 2592, 2592 \leq Z_{435} \leq 2598, 2598 \leq Z_{436} \leq 2604, 2604 \leq Z_{437} \leq 2610, 2610 \leq Z_{438} \leq 2616, 2616 \leq Z_{439} \leq 2622, 2622 \leq Z_{440} \leq 2628, 2628 \leq Z_{441} \leq 2634, 2634 \leq Z_{442} \leq 2640, 2640 \leq Z_{443} \leq 2646, 2646 \leq Z_{444} \leq 2652, 2652 \leq Z_{445} \leq 2658, 2658 \leq Z_{446} \leq 2664, 2664 \leq Z_{447} \leq 2670, 2670 \leq Z_{448} \leq 2676, 2676 \leq Z_{449} \leq 2682, 2682 \leq Z_{450} \leq 2688, 2688 \leq Z_{451} \leq 2694, 2694 \leq Z_{452} \leq 2700, 2700 \leq Z_{453} \leq 2706, 2706 \leq Z_{454} \leq 2712, 2712 \leq Z_{455} \leq 2718, 2718 \leq Z_{456} \leq 2724, 2724 \leq Z_{457} \leq 2730, 2730 \leq Z_{458} \leq 2736, 2736 \leq Z_{459} \leq 2742, 2742 \leq Z_{460} \leq 2748, 2748 \leq Z_{461} \leq 2754, 2754 \leq Z_{462} \leq 2760, 2760 \leq Z_{463} \leq 2766, 2766 \leq Z_{464} \leq 2772, 2772 \leq Z_{465} \leq 2778, 2778 \leq Z_{466} \leq 2784, 2784 \leq Z_{467} \leq 2790, 2790 \leq Z_{468} \leq 2796, 2796 \leq Z_{469} \leq 2802, 2802 \leq Z_{470} \leq 2808, 2808 \leq Z_{471} \leq 2814, 2814 \leq Z_{472} \leq 2820, 2820 \leq Z_{473} \leq 2826, 2826 \leq Z_{474} \leq 2832, 2832 \leq Z_{475} \leq 2838, 2838 \leq Z_{476} \leq 2844, 2844 \leq Z_{477} \leq 2850, 2850 \leq Z_{478} \leq 2856, 2856 \leq Z_{479} \leq 2862, 2862 \leq Z_{480} \leq 2868, 2868 \leq Z_{481} \leq 2874, 2874 \leq Z_{482} \leq 2880, 2880 \leq Z_{483} \leq 2886, 2886 \leq Z_{484} \leq 2892, 2892 \leq Z_{485} \leq 2898, 2898 \leq Z_{486} \leq 2904, 2904 \leq Z_{487} \leq 2910, 2910 \leq Z_{488} \leq 2916, 2916 \leq Z_{489} \leq 2922, 2922 \leq Z_{490} \leq 2928, 2928 \leq Z_{491} \leq 2934, 2934 \leq Z_{492} \leq 2940, 2940 \leq Z_{493} \leq 2946, 2946 \leq Z_{494} \leq 2952, 2952 \leq Z_{495} \leq 2958, 2958 \leq Z_{496} \leq 2964, 2964 \leq Z_{497} \leq 2970, 2970 \leq Z_{498} \leq 2976, 2976 \leq Z_{499} \leq 2982, 2982 \leq Z_{500} \leq 2988, 2988 \leq Z_{501} \leq 2994, 2994 \leq Z_{502} \leq 3000, 3000 \leq Z_{503} \leq 3006, 3006 \leq Z_{504} \leq 3012, 3012 \leq Z_{505} \leq 3018, 3018 \leq Z_{506} \leq 3024, 3024 \leq Z_{507} \leq 3030, 3030 \leq Z_{508} \leq 3036, 3036 \leq Z_{509} \leq 3042, 3042 \leq Z_{510} \leq 3048, 3048 \leq Z_{511} \leq 3054, 3054 \leq Z_{512} \leq 3060, 3060 \leq Z_{513} \leq 3066, 3066 \leq Z_{514} \leq 3072, 3072 \leq Z_{515} \leq 3078, 3078 \leq Z_{516} \leq 3084, 3084 \leq Z_{517} \leq 3090, 3090 \leq Z_{518} \leq 3096, 3096 \leq Z_{519} \leq 3102, 3102 \leq Z_{520} \leq 3108, 3108 \leq Z_{521} \leq 3114, 3114 \leq Z_{522} \leq 3120, 3120 \leq Z_{523} \leq 3126, 3126 \leq Z_{524} \leq 3132, 3132 \leq Z_{525} \leq 3138, 3138 \leq Z_{526} \leq 3144, 3144 \leq Z_{527} \leq 3150, 3150 \leq Z_{528} \leq 3156, 3156 \leq Z_{529} \leq 3162, 3162 \leq Z_{530} \leq 3168, 3168 \leq Z_{531} \leq 3174, 3174 \leq Z_{532} \leq 3180, 3180 \leq Z_{533} \leq 3186, 3186 \leq Z_{534} \leq 3192, 3192 \leq Z_{535} \leq 3198, 3198 \leq Z_{536} \leq 3204, 3204 \leq Z_{537} \leq 3210, 3210 \leq Z_{538} \leq 3216, 3216 \leq Z_{539} \leq 3222, 3222 \leq Z_{540} \leq 3228, 3228 \leq Z_{541} \leq 3234, 3234 \leq Z_{542} \leq 3240, 3240 \leq Z_{543} \leq 3246, 3246 \leq Z_{544} \leq 3252, 3252 \leq Z_{545} \leq 3258, 3258 \leq Z_{546} \leq 3264, 3264 \leq Z_{547} \leq 3270, 3270 \leq Z_{548} \leq 3276, 3276 \leq Z_{549} \leq 3282, 3282 \leq Z_{550} \leq 3288, 3288 \leq Z_{551} \leq 3294, 3294 \leq Z_{552} \leq 3300, 3300 \leq Z_{553} \leq 3306, 3306 \leq Z_{554} \leq 3312, 3312 \leq Z_{555} \leq 3318, 3318 \leq Z_{556} \leq 3324, 3324 \le$				

【 図 8 】

$Z_6=15(\text{Mrayl}) (M_2=0.6-0.4)$							
M_2	M_2						
	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	
0.6	$(2\bar{z} \leq \bar{z}_1 \leq 30, 18\bar{z}_2 \leq 30, 3\bar{z}_3 \leq 30, 4\bar{z}_4 \leq 30, 20\bar{z}_5 \leq 30, 22\bar{z}_6 \leq 30, 7\bar{z}_7 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(12\bar{z}_1 \leq 20, 2\bar{z}_2 \leq 30, 16\bar{z}_3 \leq 20, 3\bar{z}_4 \leq 4)$ 付近で70%以上	$(4\bar{z}_1 \leq 5, 6\bar{z}_2 \leq 8)$ 付近で70%以上	$(4\bar{z}_1 \leq 6, 5\bar{z}_2 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 5\bar{z}_2 \leq 6)$ 付近で90%以上	$(4\bar{z}_3 \leq 6, 4\bar{z}_4 \leq 5, 6\bar{z}_5 \leq 8, 5\bar{z}_6 \leq 6)$	
	0.4	$(8\bar{z} \leq \bar{z}_1 \leq 12, 5\bar{z}_2 \leq 6, 8\bar{z}_3 \leq 14, 6\bar{z}_4 \leq 7, 9\bar{z}_5 \leq 16, 7\bar{z}_6 \leq 8)$ 付近で70%以上	$(13\bar{z}_1 \leq 20, 2\bar{z}_2 \leq 30, 17\bar{z}_3 \leq 22, 4\bar{z}_4 \leq 5, 18\bar{z}_5 \leq 22, 5\bar{z}_6 \leq 6)$ 付近で80%以上	$(10\bar{z}_1 \leq \bar{z}_2 \leq 16, 1\bar{z}_3 \leq 7, 4\bar{z}_4 \leq 16, 7\bar{z}_5 \leq 8)$ 付近で60%以上	$(4\bar{z}_1 \leq 6, 6\bar{z}_2 \leq 8, Z_1=16, \bar{z}_2=7)$ 付近で70%以上	$(4\bar{z}_1 \leq 6, 5\bar{z}_2 \leq 8, 6\bar{z}_3 \leq 8, 5\bar{z}_4 \leq 6, 8\bar{z}_5 \leq 14, 7\bar{z}_6 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(4\bar{z}_3 \leq 6, 4\bar{z}_4 \leq 5, 5\bar{z}_5 \leq 8, 6\bar{z}_6 \leq 8, 5\bar{z}_7 \leq 6, 8\bar{z}_8 \leq 14, 7\bar{z}_9 \leq 8)$ 付近で80%以上

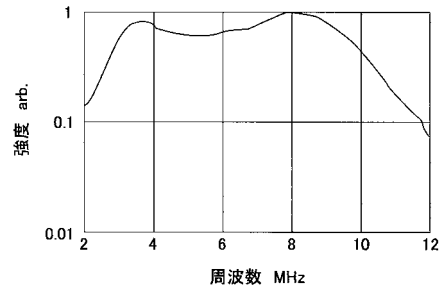
【 図 1 0 】

$M_5=20$ (Mrayl) ($M_5=1.2\sim 1.0$)									
1.2	(12 $\leq Z_1\leq 17$, $Z_1=1$) 付近で80%以上	(20 $\leq Z_1\leq 30$, $Z_1=1$) 付近で90%以上	(2 ~ 4 , $Z_2=4$) 付近で90%以上	(4 $\leq Z_1\leq 8$, 7 $\leq Z_2\leq 8$, 5 $\leq Z_3\leq 5$) (8 $\leq Z_1\leq 10$, 0.4 $Z_2\sim 2$, 5 $\leq Z_3\leq 6$) (8 $\leq Z_1\leq 11$, 0.5 $\leq Z_2\leq 11$, 6 $\leq Z_3\leq 7$) (10 $\leq Z_1\leq 13$, 7 $\leq Z_2\leq 8$) 付近で100%以上	(16 $\leq Z_1\leq 17$, 7 $\leq Z_2\leq 8$) 付近で90%以上 (0.4 $Z_2\sim 2$, 5 $\leq Z_3\leq 6$) 付近で概ね70%以上	(14 $\leq Z_1\leq 22$, 1 $\leq Z_2\leq 2$) (12 $\leq Z_1\leq 30$, 2 $\leq Z_2\leq 4$) (14 $\leq Z_1\leq 18$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) 付近で70%以上	(20 $\leq Z_1\leq 26$, $Z_1=1$) 付近で80%以上		
	(4 $\leq Z_1\leq 13$, $Z_1=1$) 付近で80%以上	(18 $\leq Z_1\leq 22$, 2 $\leq Z_2\leq 3$) 付近で90%以上	(18 $\leq Z_1\leq 30$, 2 $\leq Z_2\leq 3$) 付近で80%以上	(7 $\leq Z_1\leq 10$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) (10 $\leq Z_1\leq 12$, 5 $\leq Z_2\leq 10$) 付近で90%以上	(4 $\leq Z_1\leq 6$, 3 $\leq Z_2\leq 4$) (4 $\leq Z_1\leq 8$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) (6 $\leq Z_1\leq 9$, 5 $\leq Z_2\leq 6$) (8 $\leq Z_1\leq 10$, 6 $\leq Z_2\leq 7$) (10 $\leq Z_1\leq 12$, 7 $\leq Z_2\leq 8$) 付近で100%以上	(4 $\leq Z_1\leq 8$, 3 $\leq Z_2\leq 4$) (8 $\leq Z_1\leq 10$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) (4 $\leq Z_1\leq 12$, 5 $\leq Z_2\leq 6$) 付近で100%以上 (0.4 $Z_2\sim 2$, 5 $\leq Z_3\leq 6$) 付近で概ね70%以上	(6 $\leq Z_1\leq 8$, $Z_2=3$) (8 $\leq Z_1\leq 12$, 3 $\leq Z_2\leq 4$) (20 $\leq Z_1\leq 26$, $Z_1=1$) 付近で80%以上		
M ₂									
1.0	(4 $\leq Z_1\leq 13$, $Z_1=1$) 付近で80%以上	(18 $\leq Z_1\leq 22$, 2 $\leq Z_2\leq 3$) 付近で90%以上	(18 $\leq Z_1\leq 30$, 2 $\leq Z_2\leq 3$) 付近で80%以上	(7 $\leq Z_1\leq 10$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) (10 $\leq Z_1\leq 12$, 5 $\leq Z_2\leq 10$) 付近で90%以上	(4 $\leq Z_1\leq 6$, 3 $\leq Z_2\leq 4$) (4 $\leq Z_1\leq 8$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) (6 $\leq Z_1\leq 9$, 5 $\leq Z_2\leq 6$) (8 $\leq Z_1\leq 10$, 6 $\leq Z_2\leq 7$) (10 $\leq Z_1\leq 12$, 7 $\leq Z_2\leq 8$) 付近で100%以上	(4 $\leq Z_1\leq 8$, 3 $\leq Z_2\leq 4$) (8 $\leq Z_1\leq 10$, 4 $\leq Z_2\leq 5$) (4 $\leq Z_1\leq 12$, 5 $\leq Z_2\leq 6$) 付近で100%以上 (0.4 $Z_2\sim 2$, 5 $\leq Z_3\leq 6$) 付近で概ね70%以上	(6 $\leq Z_1\leq 8$, $Z_2=3$) (8 $\leq Z_1\leq 12$, 3 $\leq Z_2\leq 4$) (20 $\leq Z_1\leq 26$, $Z_1=1$) 付近で80%以上		
M ₁									
0.4			0.8	1.0	1.2	1.4	1.6		
0.6									

【図 1 1】

$Z_B=20(M_{\text{ray}})$ ($M_2=0.8\sim0.4$)						
0.8	$(25 \leq Z_1 \leq 30, 3 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で70%以上	$(10 \leq Z_1 \leq 16, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で90%以上	$(24 \leq Z_1 \leq 30, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 4 \leq Z_2 \leq 6)$ 付近で90%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で90%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 8, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で90%以上
	$(18 \leq Z_1 \leq 30, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で90%以上	$(18 \leq Z_1 \leq 30, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で90%以上	$(18 \leq Z_1 \leq 30, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で90%以上	$(12 \leq Z_1 \leq 16, 6 \leq Z_2 \leq 7)$ 付近で80%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 8, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で90%以上	$(6 \leq Z_1 \leq 11, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で90%以上
0.6	$(20 \leq Z_1 \leq 30, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で80%以上	$(18 \leq Z_1 \leq 30, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で90%以上	$(22 \leq Z_1 \leq 28, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, Z_2=6)$ 付近で80%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で90%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 8, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で90%以上
	$(16 \leq Z_1 \leq 30, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で80%以上	$(26 \leq Z_1 \leq 30, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で90%以上	$(22 \leq Z_1 \leq 28, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, Z_2=6)$ 付近で80%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 6, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で90%以上	$(4 \leq Z_1 \leq 8, 3 \leq Z_2 \leq 4)$ 付近で90%以上
0.4	$(28 \leq Z_1 \leq 30, 5 \leq Z_2 \leq 7)$ 付近で90%以上	$(26 \leq Z_1 \leq 30, 2 \leq Z_2 \leq 3)$ 付近で90%以上	$(24 \leq Z_1 \leq 30, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で80%以上
	$(26 \leq Z_1 \leq 30, 7 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で90%以上	$(28 \leq Z_1 \leq 30, 4 \leq Z_2 \leq 5)$ 付近で90%以上	$(24 \leq Z_1 \leq 30, 1 \leq Z_2 \leq 2)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で80%以上	$(Z_1=4, 6 \leq Z_2 \leq 8)$ 付近で80%以上
M_2						
M_1						
1.6						
1.4						
1.2						
1.0						
0.8						
0.6						
0.4						

【図 1 2】



专利名称(译)	超声波用探触子		
公开(公告)号	JP2007289283A	公开(公告)日	2007-11-08
申请号	JP2006118344	申请日	2006-04-21
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
[标]发明人	大澤敦 中村博親		
发明人	大澤 敦 中村 博親		
IPC分类号	A61B8/00 H04R17/00		
FI分类号	A61B8/00 H04R17/00.330.J		
F-TERM分类号	4C601/EE04 4C601/GB24 4C601/GB30 5D019/AA09 5D019/FF04 5D019/GG02 5D019/GG03 5D019/GG06		
代理人(译)	宇都宫正明		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：扩大具有压电振动器，衬里层和两个声匹配层的超声探头的频率特性。机械共振频率 f_0 包括由具有声阻抗 Z_0 的材料形成的压电体和在压电体的两个表面上形成的电极。由具有声阻抗 Z_B ，声阻抗 Z_1 和匹配厚度 λ_1 的材料形成的衬层 第一声匹配层的厚度为 M_1 倍 $\lambda_1/4$ ，声阻抗 Z_2 和匹配厚度 λ_2 的第二声匹配层 1， Z_2 ， M_1 和 M_2 是 $2 + M_2 \leq 2 + 0.68 (Z_B / Z_0)$ ，且 $4 \leq Z_1 \leq 22$ 、 $2 \leq Z_2 \leq 8$ 、 $5 B$ 。[选型图]图1

