

(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2006-322902

(P2006-322902A)

(43) 公開日 平成18年11月30日(2006.11.30)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 17/02 (2006.01)	GO 1 B 17/02 Z	2 F 0 6 8
GO 1 N 29/00 (2006.01)	GO 1 N 29/18	2 G O 4 7
	GO 1 N 29/20	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2005-148601 (P2005-148601)
 (22) 出願日 平成17年5月20日 (2005.5.20)

(71) 出願人 000005968
 三菱化学株式会社
 東京都港区芝4丁目14番1号
 (74) 代理人 100074206
 弁理士 鎌田 文二
 (74) 代理人 100087538
 弁理士 鳥居 和久
 (74) 代理人 100112575
 弁理士 田川 孝由
 (74) 代理人 100084858
 弁理士 東尾 正博
 (72) 発明者 戸田 裕己
 和歌山県和歌山市栄谷930 国立大学法人和歌山大学システム工学科内

最終頁に続く

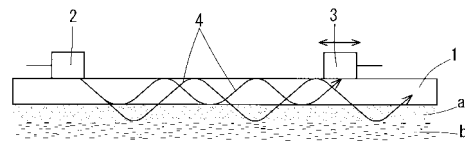
(54) 【発明の名称】 筒状体内面付着層の厚さ測定方法

(57) 【要約】

【課題】筒状体を伝播される超音波として、板波、特にラム波を用いることにより、筒状体内部に付着した付着層の厚みを測定することを目的とする。

【解決手段】 一对の探触子2, 3のうち一方の探触子2を検査対象の筒状体外面に固定すると共に、他方の探触子3が検査対象の筒状体1外面上を移動自在となるように設置し、上記の他方の探触子を移動させながら、上記両探触子間に超音波を送受信させることにより、筒状体にラム波を伝播させ、送信された周波数について上記探触子に受信される超音波の伝播時間及び振幅を測定し、上記の伝播距離、振幅、周波数及び伝播時間から選ばれ少なくとも3つの関係から、上記筒状体内面に付着した付着層の厚さの推定値を求める筒状体内面付着層の厚さ測定方法を用いる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

一対の探触子のうち一方の探触子を検査対象の筒状体外面に固定すると共に、他方の探触子が検査対象の筒状体外面上を移動自在となるように設置し、

上記の他方の探触子を移動させながら、上記両探触子間に超音波を送受信させることにより、筒状体にラム波を伝播させ、送信された周波数について上記探触子に受信される超音波の伝播時間及び振幅を測定し、

上記の伝播距離、振幅、周波数及び伝播時間から選ばれる少なくとも3つの関係から、上記筒状体内面に付着した付着層の厚さの推定値を求める筒状体内面付着層の厚さ測定方法。

10

【請求項 2】

上記超音波が、パースト波である請求項 1 に記載の筒状体内面付着層の厚さ測定方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

この発明は、化学プラント等における管、タンク、反応器、ドラム等の筒状体の内側に付着した汚れ等の付着層厚を筒状体の外部から測定する筒状体内面付着層の厚さ測定方法に関する。

【背景技術】

20

【0002】

一般に、化学プラントその他の工業用施設には、熱交換器や蒸留塔等に接続されるような配管等の筒状体が多数設置されており、これら筒状体の内側には使用時に通過する物質により様々な汚れが付着する。

【0003】

上記配管等の筒状体内に原料の流体が結晶化等で固体化して積層状態になるまで付着すると、流通抵抗が大きくなって製造効率が低下したり、筒状体内圧力の上昇による安全性の問題や製品純度の低下等の、種々の問題を起こす懸念がある。

【0004】

このような問題を起こさないため、定期的に上記筒状体内の洗浄が行われる。しかし、この洗浄作業は、製造工程の一時的な停止状態を要する作業であり、作業で製造時間も遅延し、経済的な損失も大きい。また、汚れがあまりなく、洗浄の必要がない場合であっても、洗浄作業を行っていることもある。

30

【0005】

ところで、上記筒状体の内部の汚れの状態を確認する方法としては、配管を外して内部を目視で確認する方法、反応器やドラム等の蓋をあけて内部を目視で確認する方法等、筒状体の内部を目視で確認する方法があげられる。しかし、この方法は、配管の取り外し、蓋の開放等の操作が必要となり、さらに、死角等があるため、必ずしも完全に目視による確認を行い難い。このため、筒状体の内面の汚れの程度を把握することは難しく、また汚れの付着程度を広い範囲で確実に調べることは困難であった。

40

【0006】

これに対し、上記筒状体の内部の汚れの付着量を測定する他の方法として、筒状体外部から外周面に垂直に超音波を入射させ、付着層表面の反射波から内部の付着層の厚さを計測する、いわゆる垂直法が知られている。

【0007】

また、溶接部を有する鋼板のような板厚変化のある薄板の超音波探傷方法として、超音波による板波を用いた透過法（特許文献 1 参照。）が知られている。

【0008】

【特許文献 1】特開平 11 - 118771 号公報（特許請求の範囲）

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】**【0009】**

しかしながら、上記の垂直法による筒状体内付着層の厚さ測定方法では、特に筒状体が薄肉で、付着層の厚みも薄い場合、両者の反射波の分離が困難となりやすい。また、付着層の厚みが厚い場合、付着層による反射波の減衰が大きく、厚みの測定が困難となる場合がある。

【0010】

さらに、筒状体内部に均一に汚れの付着層が形成されているとは限らないので、垂直法によって検査対象の筒状体の一部のみを測定しても、筒状体全体の汚れの付着程度を把握できず、筒状体内付着層の形成程度を広範囲について把握できる筒状体内面付着層の厚さ測定方法が求められている。

10

【0011】

一方、上記の超音波探傷方法は、筒状体内の汚れの付着量を測定する方法としては採用された例がない。また、この方法は、超音波による板厚の変化を知ることができるが、縦波を用いているため、これを実際の管やタンク等に応用すると、液体部分と固体部分の成分が同じであるので、密度に明瞭な境界が存在せず、また付着層の上に液体がない場合でも、付着層の表面からの反射波は減衰して振幅が小さくなる傾向があるため、實際上、筒状体では反射波は得難い傾向がある。

【0012】

そこで、この発明は、筒状体を伝播される超音波として、板波、特にラム波を用いることにより、筒状体内部に付着した付着層の厚みを測定することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】**【0013】**

この発明は、一对の探触子のうち一方の探触子を検査対象の筒状体外面に固定すると共に、他方の探触子が検査対象の筒状体外面上を移動自在となるように設置し、上記の他方の探触子を移動させながら、上記両探触子間に超音波、特にバースト波を送受信させることにより、筒状体にラム波を伝播させ、送信された周波数について上記探触子に受信される超音波の伝播時間及び振幅を測定し、上記の伝播距離、振幅、周波数及び伝播時間から選ばれる少なくとも3つの関係から、上記筒状体内面に付着した付着層の厚さの推定値を求める筒状体内面付着層の厚さ測定方法を用いることにより、上記課題を解決したのである。

30

【発明の効果】**【0014】**

検査対象の筒状体の構成部材に、所定の角度を設けて超音波を入射すると、この超音波のうち表面波の一種である板波が筒状体の構成部材内を伝播する。この板波のうちラム波は、筒状体構成部材の外表面や、内表面、内表面に付着した付着物によって構成される層の表面で反射するが、この反射の際にモード変換、縦波及び横波の発生する現象が生じる。このため、ラム波の伝播が進むにつれ、多くのモードが混在した状態となる。

【0015】

この発明においては、他方の探触子を筒状体外面上を移動自在に設置するので、一方の探触子と他方の探触子との間、すなわち、伝播距離を変えることができる。この伝播距離により、ラム波のモード数が異なり、受信側の探触子におけるラム波の伝播時間や振幅に変化が生じる。

40

【0016】

このため、伝播距離を変えながら伝播時間や振幅を測定し、さらに加えて、超音波の周波数を変化させて同様にデータをとることにより、伝播距離、伝播時間、周波数及び振幅の4つのファクターを変化させたデータをとることができ、これらから、少なくとも3つの関係から、三次元図等の関係を示す関係データが得られる。例えば、所定の周波数に注目することにより、伝播距離、振幅及び伝播時間の三次元図等の関係データが得られる。また、所定の伝播時間に注目することにより、伝播距離、振幅及び周波数の三次元図等の

50

関係データが得られる。さらに、伝播距離と伝播時間から伝播速度が導き出せるので、上記の各データから伝播速度、周波数及び振幅の三次元図等の関係データが得られる。

【0017】

これらの三次元図等の関係データを、検査対象の筒状体の内周面に特定の厚さの付着物を付着させて、同様の方法で得られた三次元図と比較することにより、付着層の厚さを推定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

この発明に係る筒状体内面付着層の厚さ測定方法は、一对の探触子を検査対象の筒状体の外面に設置し、このうち一方の探触子を固定すると共に、他方の探触子を移動自在とし、この一对の探触子で超音波を送受信させることにより、筒状体内面に付着している付着層の厚さを測定する方法である。

10

【0019】

すなわち、図1に示すように、検査対象の筒状体(図は筒状体の一部の断面を示す。)1の外表面に、一对の送信側探触子2及び受信側探触子3を設置し、両探触子2,3間に超音波を送受信することにより、筒状体1に板波4を伝播させる方法である。そして、送信側探触子2及び受信側探触子3のいずれか一方を、上記筒状体1外面に固定すると共に、他方を上記筒状体1外面に移動自在となるよう設置する。なお、本明細書においては、送信側探触子2を固定した探触子とし、受信側探触子3を移動可能な探触子として記載するが、受信側探触子3を固定した探触子とし、送信側探触子2を移動可能な探触子として

20

【0020】

上記の送信側探触子2を固定し、かつ、受信側探触子3を移動自在とした装置としては、図2に示すように、ガイド6に送信側探触子2を、固定部材7を介して固定すると共に、ガイド6に設けたレール5に沿って移動可能なスライド部材8に受信側探触子3を取り付けた装置をあげることができる。この装置を用いると、受信側探触子3はレール5に沿った方向に移動が自在となる。また、この装置を用いた場合、検査対象の上記筒状体1の軸方向にガイド6を設置することにより、受信側探触子3を上記筒状体1の軸方向に直線状に移動させることが可能となる。

【0021】

上記の装置は、ガイドの両端部の接続部材9,10を用いて、筒状体1に接続される。このとき、上記筒状体1が鋼鉄等、磁石につく素材が用いられる場合、この接続部材9,10として磁石を用いると、この装置の筒状体1への脱着が容易となり、好ましい。

30

【0022】

上記の筒状体1は、管、タンク、反応器、ドラム等であって、内部に物質を貯留又は通過させ得るように主要部が筒状に形成されている装置や設備の一部又はその全体をいい、特に限定された形態のみをいうものではない。

【0023】

また、この発明における付着物は、この筒状体1の内部に貯留又は通過される物質又はその物質由来からなる物であり、一般には固形状又はゲル状である。

40

【0024】

次に、送信側探触子2から発信される超音波は、所定範囲の周波数を有し、図3に示すように、所定の入射角で筒状体1の構成部材に入射される。入射される超音波のうち、板波が筒状体1の構成部材内を伝播する。この板波とは、理想条件において厚さが有限で広さが無限な板に沿って伝搬する弾性波をいう。この板波は、ラム(Lamb)波とSH波の2モードに分けられ、このうちSH波は、媒質中の粒子が、超音波の入射した平面に平行で、かつ伝搬方向に対して垂直な方向に振動して伝わる波をいう。また、ラム(Lamb)波は、厚さに対して十分な広さをもつ固体板中を縦波と横波が混在一体となって伝搬する波である。この横波は、SV波と呼ばれるものであり、SV波は媒質中の粒子が、超音波の入射した平面に垂直で、かつ波の伝搬方向に対して垂直な方向に振動して伝わる

50

波をいう。

【0025】

そして、筒状体1の構成部材に斜めから超音波を入射すると、図3に示すように、この超音波の板波のうち、横波(図3の点線の矢印)及び縦波(図3の実線の矢印)を有するラム波は、筒状体1の構成部材の内面で反射すると共に、反射の際に縦波や横波が生じる。次に、これらの横波や縦波は、筒状体1の構成部材の外面で反射すると共に、さらに縦波や横波が発生する。このような現象をモード変換という。ラム波は無限にモード変換を繰り返すので、伝播距離が長くなると、複数のモードの縦波及び横波が混在一体となって伝搬する波となっていく。

【0026】

ところで、このラム波の振動は、筒状体1の構成部材の一点を見た場合、この筒状体1の構成部材の内面と外面との間の振動となって表れるが、この振動は、図4に示すように、その内面と外面との位相が同じであるAモード(非対称モード、図4(a)参照)と、その内面と外面との位相が反対であるSモード(対称モード、図4(b)参照)がある。この場合、その内面と外面との中間の中間面で見ると、Aモードでは、中間面でも振動を生じるが、Sモードでは、中間面で振動が発生しなくなる。

【0027】

一般的に、超音波を上記筒状体1の構成部材等の板材の片側から入射するとAモードの方が発生しやすくなり、一方、上記板材の両面から同時に入射すると、Sモードを発生させやすくなる。この発明の測定においては、外面のみから超音波を入射するため、ラム波のうち非対称のAモードの方が優先的に発生しやすく、Aモードを用いることが望ましい。なお、所定の波が、AモードかSモードかであることの判断は、付着層がない場合は受信した板波の周波数×板厚と位相速度の関係が文献に載っており、どのモードかを判断することが可能である。

【0028】

上記付着物が筒状体1の内面に付着すると、図1に示すように、筒状体1の構成部材の内部を伝播するラム波の一部は、付着層aの表面、すなわち、付着層aと筒状体1内部の内部物質bとの境界面で反射及びモード変換を生ずる(図1には、反射した波のみを記載)。このため、筒状体1の構成部材内部を伝播するラム波と付着層aの表面で反射及びモード変化するラム波が共存することとなる。これらのラム波は、位相が相違し、この相違は、付着層aの種類、厚さ等で変化する。

【0029】

上記の板波、特にラム波を発生させる代表的な方法としては、超音波の筒状体1の構成部材への入射角を所定範囲内に選定する方法である。媒質(水)の縦波伝搬速度を V_w 、媒質(例えば鋼)における位相速度を V_p 、入射角を θ とすれば、下記式の関係が成立するとき、位相速度 V_p をもつ板波モードを強勢に発生させることができる。

$$V_p = V_w / \sin \theta$$

【0030】

上記の入射角 θ としては、板波を明瞭に確認するため、 $10 \sim 60$ 度がよく、 $20 \sim 40$ 度が好ましい。

【0031】

板波を発生させる場合は、媒質中に存在するモードが周波数と板厚の積をパラメータとして変化するが、多くの波は単一の周波数のみをもったものではないため、付着層aの種類や厚みが同一であっても、超音波の発生源の種類により、受信側探触子3で受信される波が異なる場合が生じる。そこで、印加波形にほぼ単一の周波数をもつバースト波を用いることにより、角度のみの調整で特定のモードを発生させられる。このバースト波の周波数をより単一に近づけるためには、バースト波に用いる \sin 波の波数を適当に増やし、継続時間を長くすればよい。

【0032】

上記バースト波(a)は、図5に示すようにガウス関数(b)と連続的に続く \sin 関

10

20

30

40

50

数(c)を掛け合わせることによって作成できる。これにより、バースト波の立ち上がり
と立ち下りの振幅が小さくなり、単一の周波数成分の波が得やすくなる。

【0033】

このバースト波の周波数としては、発生するモード数があまり多くなり周波数帯に
するため、0.1~1MHzが好ましく、0.2~0.7MHzがより好ましい。

【0034】

次に、この発明にかかる筒状体内面付着層の厚さの測定方法の手順について説明する。

まず、図2に示す装置を検査対象の筒状体1の外面上に取り付ける。次いで、送信側探触
子2を取り付けた水溜部材12を上記筒状体1の外面上に固定することにより、送信側探触
子2を固定する。一方、受信側探触子3を取り付けた水溜部材11を、上記送信側探触子
2から所定距離離れた位置に設置することにより、受信側探触子3を所定位置に設置する
。上記の水溜部材11, 12の内部には、水が入れられ、発信される超音波の減衰を抑制
できる。

10

【0035】

図2には記載されていないが、図6に示すように、送信側探触子2には、任意波形発生
装置で発生させてパワーアンプで増強したバースト波が送られ、筒状体1の構成部材の内
部をラム波が伝播し、受信側探触子3で受信される。そして、この受信波を、パルサレシ
ーバーを経由してオシロスコープで、その波形を確認すると共に、振幅及び伝播時間を測
定する。

【0036】

次に、受信側探触子3を移動して、送信側探触子2と受信側探触子3の間の距離、すな
わち、伝播距離を変え、同様に振幅及び伝播時間を測定する。これにより、伝播距離、振
幅及び伝播時間との関係の測定データが得られる。

20

【0037】

また、必要に応じて、上記伝播距離の変更による測定の前又は後に、バースト波等の超
音波の周波数を変え、同様に振幅及び伝播時間を測定してもよい。これにより、周波数、
振幅及び伝播時間との関係の測定データが得られ、その結果、伝播距離、振幅、及び伝播
時間の関係に加えて、伝播時間、振幅、及び周波数の関係のデータを得ることができる。

【0038】

上記の受信側探触子3で受信される波は、上記の通り、複数のモードの波が一体化した
ものとなるが、この中には、上記の通り、筒状体1の構成部材内部を伝播した波と、筒状
体1の内面に付着した付着層aの表面で反射、モード変換した波とを含む。付着層aの種
類や厚さによって、付着層aの表面で反射、モード変換した波の位相や強度が変わるた
め、上記の受信側探触子3で受信される波は、付着層aの種類や厚さによって変化する。こ
のため、得られる上記測定データは、付着層aの種類や厚さによって異なったものとなる
。

30

【0039】

この測定データを、上記付着層aを構成する付着物と同様の付着物を用いて、検査対象
の筒状体の内周面に付着させて、特定の厚さの付着層を形成させ、これを用いて上記と同
様の方法で測定して得られる対照データと対比する。付着層aの厚みが同じ場合、同様の
データが得られるので、これにより、付着層aの厚さを推定することができる。

40

【0040】

具体的には、上記の通り、伝播距離及び周波数の2つのファクターを変化させることに
より、伝播距離、周波数、振幅及び伝播時間の4つのファクターからなる関係のデータが
得られる。これらから、少なくとも3つの関係を選ぶことができ、この3つの関係から、
三次元図等の関係を示す関係データが得られる。例えば、所定の周波数に注目することに
より、伝播距離、振幅及び伝播時間の三次元図等の関係データが得られる。また、所定の
伝播時間に注目することにより、伝播距離、振幅及び周波数の三次元図等の関係データが
得られる。さらに、伝播距離と伝播時間から伝播速度が導き出せるので、上記の各データ
から伝播速度、周波数及び振幅の三次元図等の関係データが得られる。さらにまた、上記

50

の振幅のうち最大振幅をピックアップすることにより、最大振幅 - 伝播距離 - 周波数等の三次元図等の関係データが得られる。

【0041】

また、伝播距離を変化させたときの伝播時間の変化は、波の位相速度に相当するので、上記4つのファクターからなる関係のデータから、周波数、振幅、及び位相速度の3つのファクターからなる関係データが得られる。

【0042】

これらの三次元図等の関係データを、検査対象の筒状体の内周面に特定の厚さの付着層を形成させて、同様の方法で得られた三次元図等の関係データと比較することにより、付着層の厚さを推定することができる。なお、上記の4つのファクターのうち、振幅を必須のファクターとして関係データを組み立てると、対比が容易になるので好ましい。

10

【0043】

なお、上記付着層 a を構成する付着物については、測定データと対比データとでは、同一のものを用いたが、これは、実際の筒状体の使用形態を考えた場合、その内部に貯留又は通過される物質が特定の物質に限定されるので、その結果、付着物の種類は特定の物質に限定されることとなり、その物質が何かであることは、測定する側は判断できると考えたためである。

【0044】

また、上記付着層 a を構成する付着物として、アルファオレフィン、アクリル系樹脂、石膏、水酸化アルミニウム等の場合、上記の測定方法で筒状体 1 の内面の付着層の厚さの推定値を求めることが可能である。

20

【実施例】

【0045】

以下、この発明を、実施例を用いてより詳細に説明する。

(実施例 1)

図 2 に示す装置を用い、検査対象の筒状体として、肉厚 3 . 5 mm、外径 48 . 6 mm、長さ 300 mm の鋼管を用いた。

まず、上記鋼管の内面に、アルファオレフィン（三菱化学（株）製：ダイアレン 30、成分及び含有量：炭素数 30 以上 95 % 程度（炭素数 28 以下 5 % 程度含む）融点：75 ~ 85、密度：0 . 78 ~ 0 . 79 g / cm³（90））を 1 mm 又は 2 mm の厚さとなるように塗布し、付着層を形成した。

30

次いで、上記鋼管に図 2 に示す装置を磁石製接続部材 9 , 10 で接合した。そして、水溜部材 11 , 12 を鋼管上に設置した。上記装置の送信側探触子 2 及び受信側探触子 3 には、図 6 に示す装置が接続され、パースト波の発信、及び受信波の解析を行えるようにした。

【0046】

そして、送信側探触子 2 から入射される入射波として、10 波のパースト波を用い、周波数を、0 . 25 MHz から 0 . 55 MHz まで 0 . 05 MHz ずつ変化させて、受信側探触子 3 で波を受信し、振幅（V）と伝播時間を測定した。この場合、受信する波は、A モードの波であった。

40

次に、受信側探触子 3 の位置を少しずつ変えて伝播距離（mm）を変更し、上記と同様に測定した。

得られた結果について、伝播距離（mm） - 伝播時間（s） - 振幅（V）の関係の三次元図を図 7 ~ 図 8 に示す。また、振幅が最大のときの伝播距離（mm） - 周波数（kHz） - 最大振幅（V）の関係の 3 次元データを図 9 に示す。

【0047】

(結果)

図 7 (a) ~ (g) 及び図 8 (a) ~ (g) に、特定の厚さの付着層（アルファオレフィン）、及び所定の入射波の周波数の場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の三次元図を示す。

50

図7(a)~(g)や図8(a)~(g)から明らかなように、入射波の周波数によって伝播距離-伝播時間-振幅の三次元図の形状は全く異なる。このため、付着物の種類等によって判断がより容易に行える入射波の周波数を選択することができる。

【0048】

また、図7(a)~(g)と図8(a)~(g)との対比から明らかなように、同じ周波数の入射波を用いても、付着層の厚さによって、伝播距離-伝播時間-振幅の関係を示す三次元図の形状は全く異なる。このため、前もって、付着層の厚さを変えてデータをとることにより、実際の使用時の筒状体について測定することによって得られる伝播距離-伝播時間-振幅の三次元図の形状から、その付着層の厚さを容易に推定することが可能となる。

10

【0049】

さらに、図9に伝播距離-周波数-最大振幅の関係の三次元図を示す。この図9は、最大振幅の伝播距離及び周波数による変化を表示しており、振幅の変化傾向、すなわち、干渉を把握することが可能となる。

【0050】

(実施例2)

アルファオレフィンのかわりに、石膏(和光純薬工業(株)製:焼きセッコウ、成分及び含有量:硫酸カルシウム(0.5水)97%以上、 2.96 g/cm^3 (20)(無水和物として))を、0mm, 1mm, 1.5mm, 2.5mm, 3mm, 4mmの厚みとなるように塗布し、付着層を形成した以外は、実施例1と同様にして、検査対象の筒状体を準備した。

20

【0051】

板波測定は、上記実施例1と同様にして行った。なお、伝播距離は、100mmと150mmの2つの場合について行った。そして、伝播距離100mmの場合と150mmの場合との伝播時間差から位相速度を算出した。

なお、石膏の付着がない場合、受信する板波は、Aモードの波であった。また、伝播時間は、一波目のバースト波の立下り(振幅が正から負になっている部分)とした。

ところで、結果を比較する際、測定環境の違いによる影響を取り除くため、全ての振幅を基準となる振幅で正規化し相対振幅を求めた。すなわち、付着層がない場合において周波数が0.45MHzの波を入射した際に得られる応答波形の最大振幅(ピーク・ツー・ピーク値)を基準振幅とし、これを1とした。

30

得られた結果について、周波数(MHz)と位相速度(km/s)との関係図、及び周波数(MHz)と伝播距離150mmにおける相対振幅との関係図を図10(a)~(f)に示す。

【0052】

(結果)

図10(b), (c), (e), (f)において、付着層(石膏)が存在すると、特定の周波数で、急激な位相速度の変化が生じると共に、相対振幅が急激に減衰した(図10(b), (c), (e), (f)の矢印で示した箇所付近)。この位相速度の急激な変化は、測定に用いたA0モード以外のモードの板波が発生していることに由来するものである。他のモードが発生する周波数では、複数のモードが同時に受信されて、各モードの板波が干渉し合うので、そのときの振幅が大きく減衰するものと考えられる。このことから、振幅の周波数依存的な減衰から、他モードの板波が発生していることを判断することができる。

40

【0053】

図10(a)~(f)から明らかなように、急激に位相速度が変化する周波数は、付着層の厚みによって異なる。このことから、付着層の厚みの明らかな場合のデータを前もってとっておくことにより、位相速度が急激に変化し、振幅が極小となる周波数の値から付着層の厚みを予測することが可能となる。

【0054】

50

なお、この高次モードの発生に伴う位相速度、及び振幅の変化は送受信子間距離によっては、必ずしも観測できない場合がある（図10（a）、（d）等）ので、付着物の種類によって、伝播距離を少しずつ変えて、モードの発生が明確に把握できるような距離を見出しておくといよい。

【0055】

ところで、図9の場合にも、最大振幅が落ち込んでいる周波数がある。この周波数値からも、この実施例2の場合と同様に、付着層の厚みの明らかな場合のデータを前もってとっておくことにより、付着層の厚みを予測することが可能となるものと考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0056】

10

【図1】筒状体内面付着層の厚さ測定方法の説明図

【図2】筒状体内面付着層の厚さの測定装置の例を示す正面図

【図3】板波発生方法における探触子の入射角の説明図、及びラム波のモード変換の様子を示す模式図

【図4】（a）A波についての説明図

（b）S波についての説明図

【図5】バースト波の作成方法の説明図

【図6】筒状体内面の付着層の厚さ測定に用いる装置のブロックダイアグラム

【0057】

【図7（a）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.25MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

20

【図7（b）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.30MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図7（c）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.35MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図7（d）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.40MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図7（e）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.45MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図7（f）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.50MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

30

【図7（g）】付着層（アルファオレフィン）1mm、入射波の周波数が0.55MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【0058】

【図8（a）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.25MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図8（b）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.30MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図8（c）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.35MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図8（d）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.40MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

40

【図8（e）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.45MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図8（f）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.50MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図8（g）】付着層（アルファオレフィン）2mm、入射波の周波数が0.55MHzの場合における、伝播距離 - 伝播時間 - 振幅の関係を示す三次元図

【図9】伝播距離（mm） - 周波数（kHz） - 最大振幅（V）の関係を示す三次元図

【0059】

【図10（a）】付着層（石膏）がない場合における、周波数 - 位相速度の関係図、及び

50

周波数 - 相対振幅の関係図

【図10(b)】付着層(石膏)が1mmの場合における、周波数 - 位相速度の関係図、及び周波数 - 相対振幅の関係図

【図10(c)】付着層(石膏)が1.5mmの場合における、周波数 - 位相速度の関係図、及び周波数 - 相対振幅の関係図

【図10(d)】付着層(石膏)が2.5mmの場合における、周波数 - 位相速度の関係図、及び周波数 - 相対振幅の関係図

【図10(e)】付着層(石膏)が3.0mmの場合における、周波数 - 位相速度の関係図、及び周波数 - 相対振幅の関係図

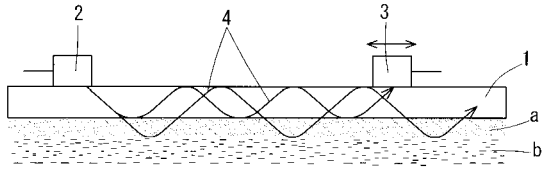
【図10(f)】付着層(石膏)が4.0mmの場合における、周波数 - 位相速度の関係図、及び周波数 - 相対振幅の関係図 10

【符号の説明】

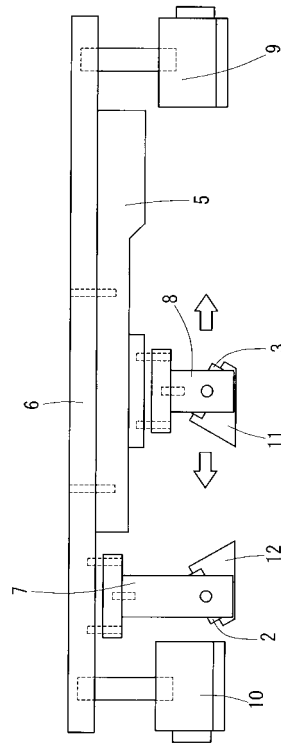
【0060】

- 1 筒状体
- 2 送信側探触子
- 3 受信側探触子
- 4 板波
- 5 レール
- 6 ガイド
- 7 固定部材
- 8 スライド部材
- 9 接続部材
- 10 接続部材
- 11 水溜部材
- 12 水溜部材
- a 付着層
- b 内部物質

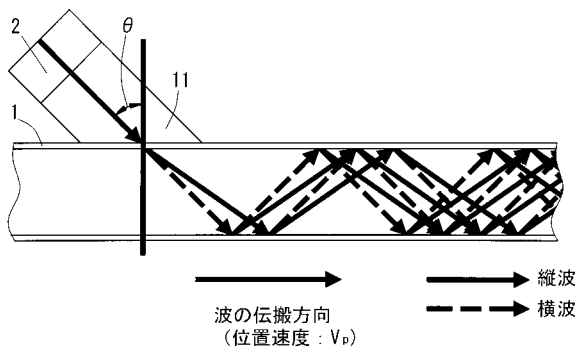
【 図 1 】



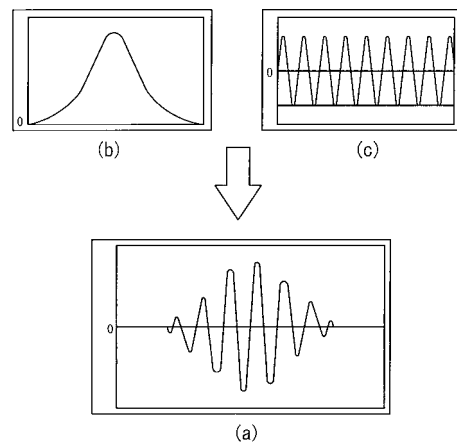
【 図 2 】



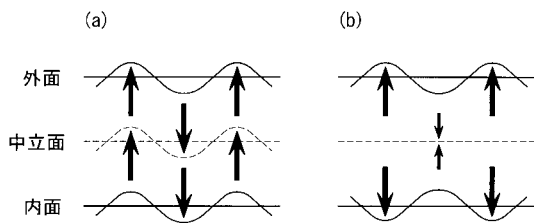
【 図 3 】



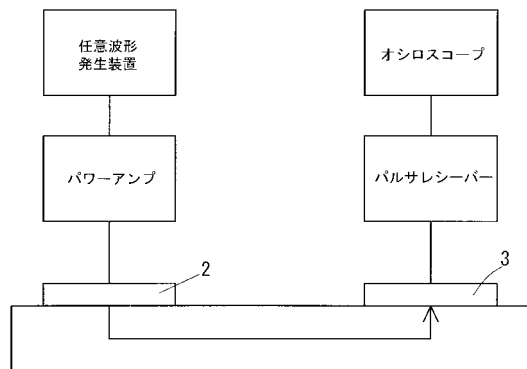
【 図 5 】



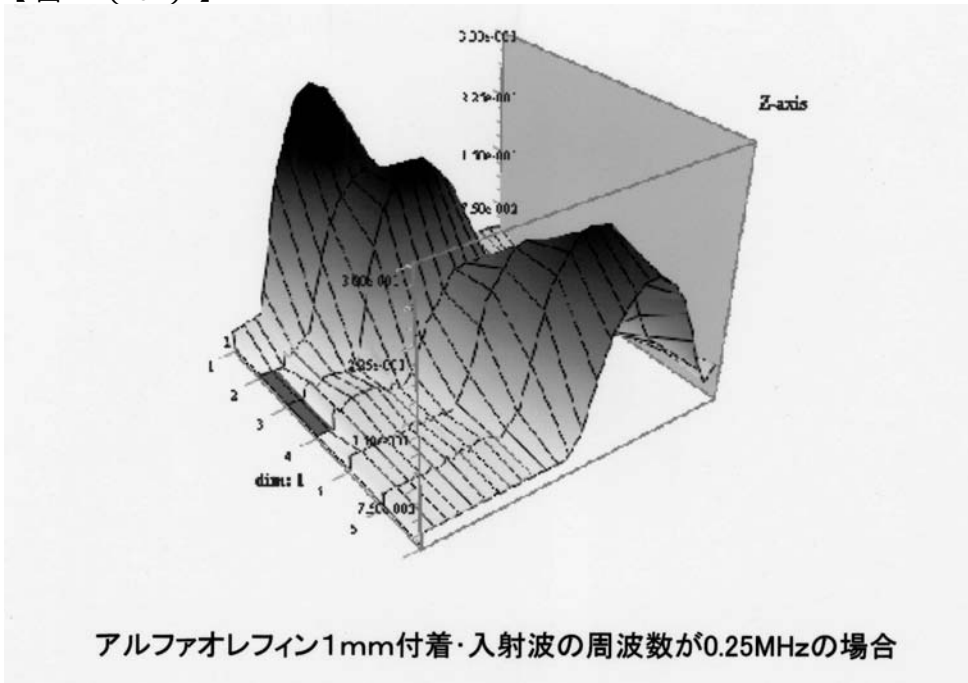
【 図 4 】



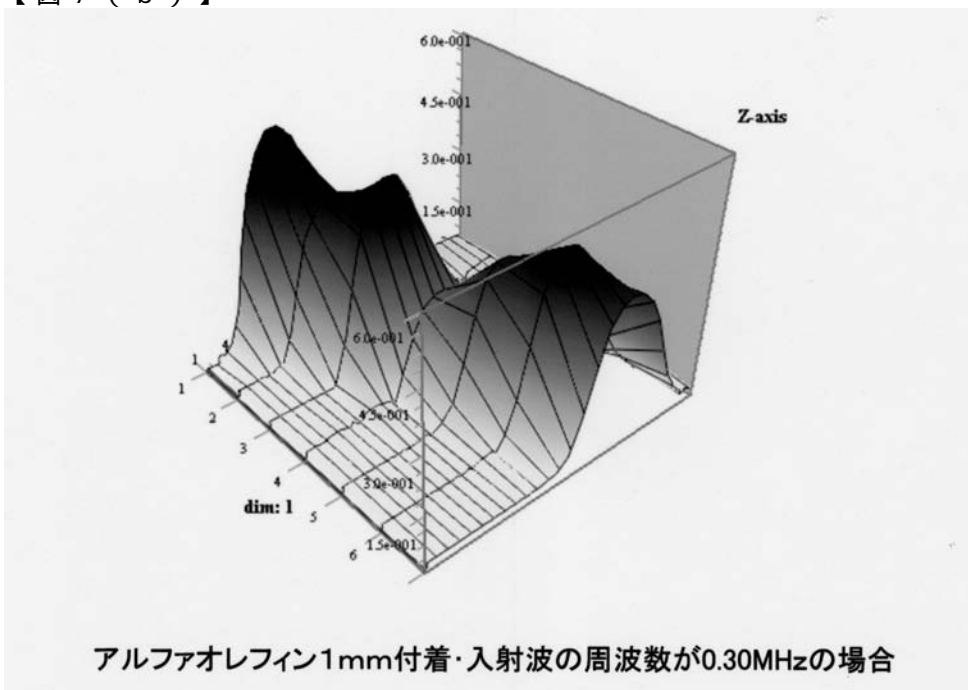
【 図 6 】



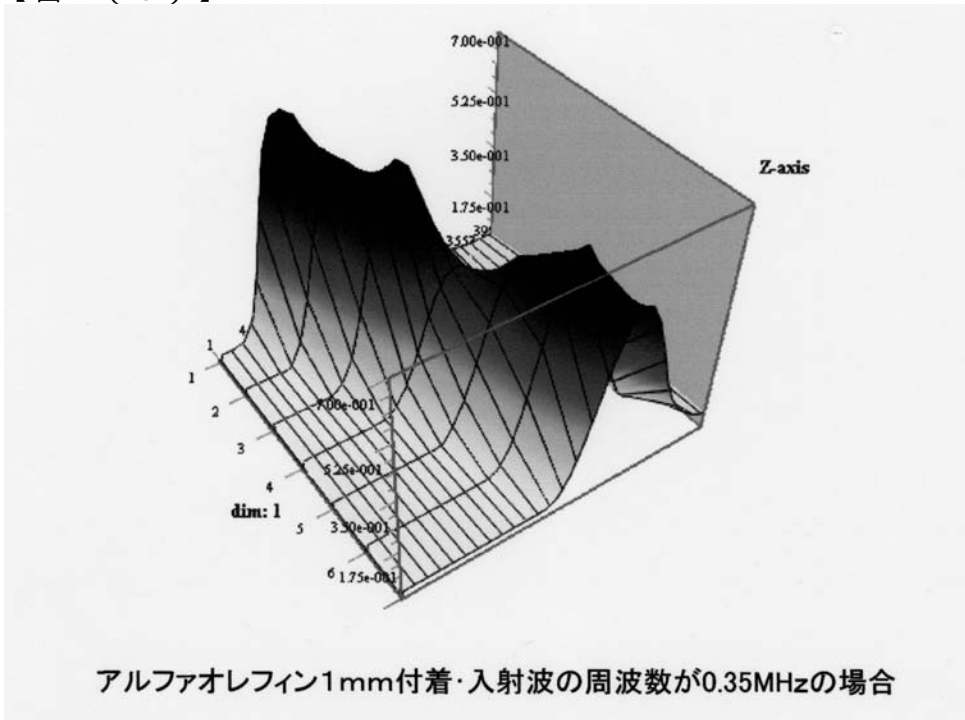
【 図 7 (a) 】



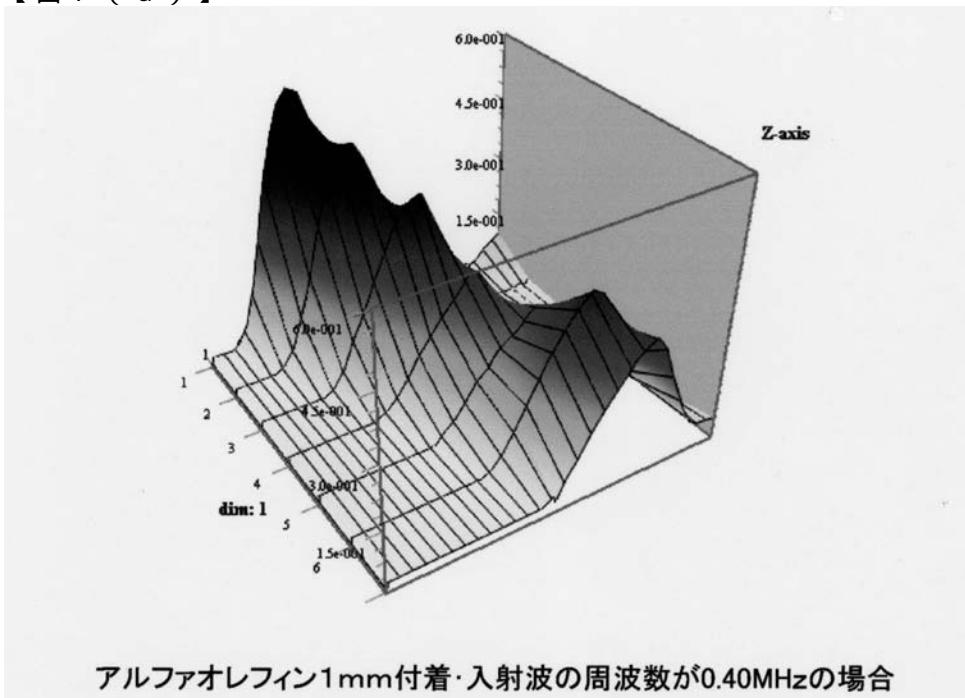
【 図 7 (b) 】



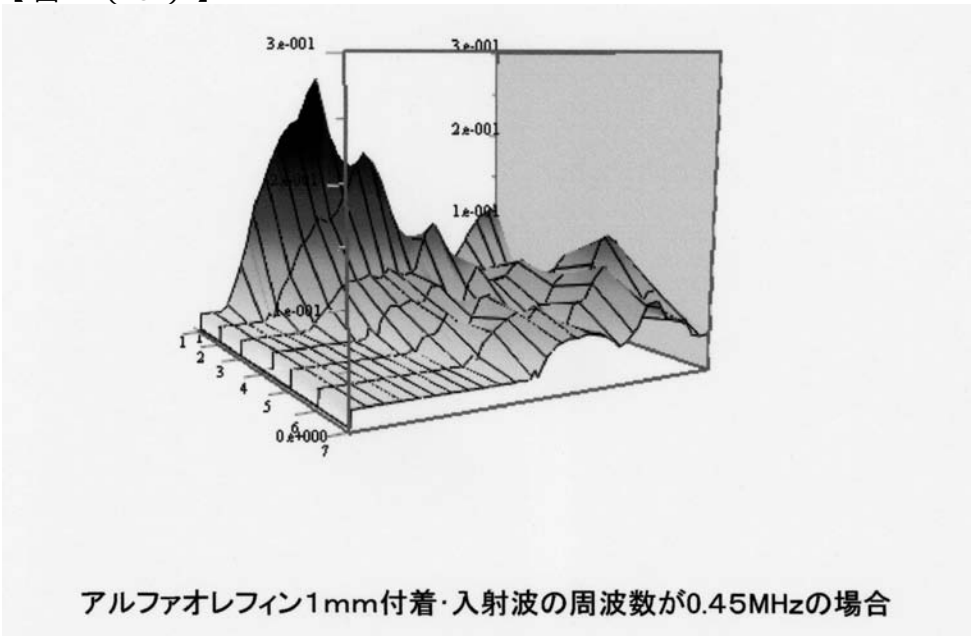
【 図 7 (c) 】



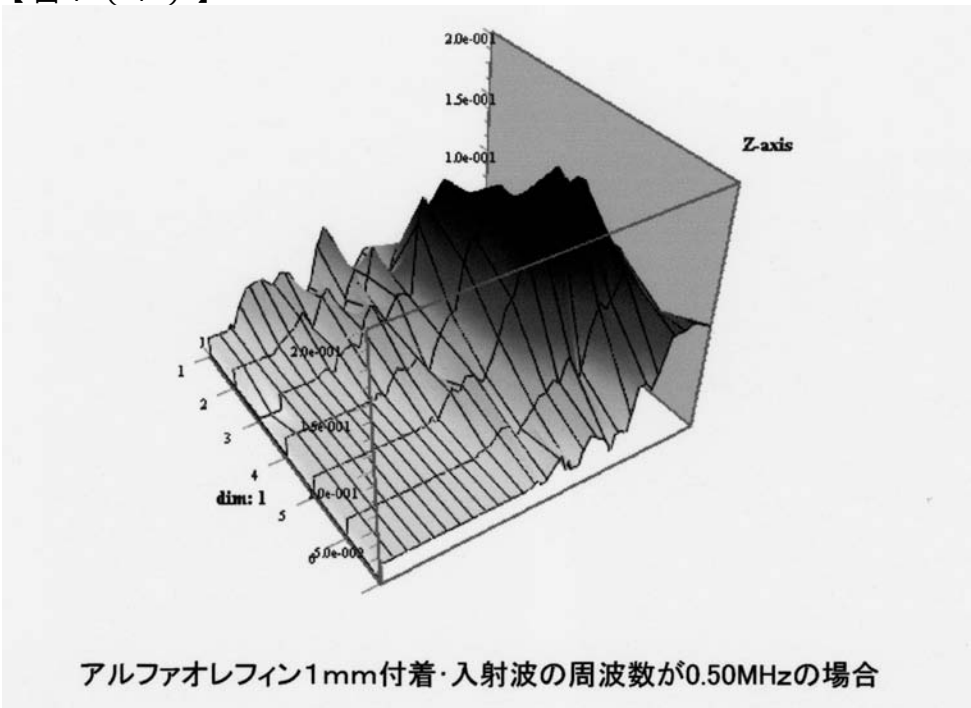
【 図 7 (d) 】



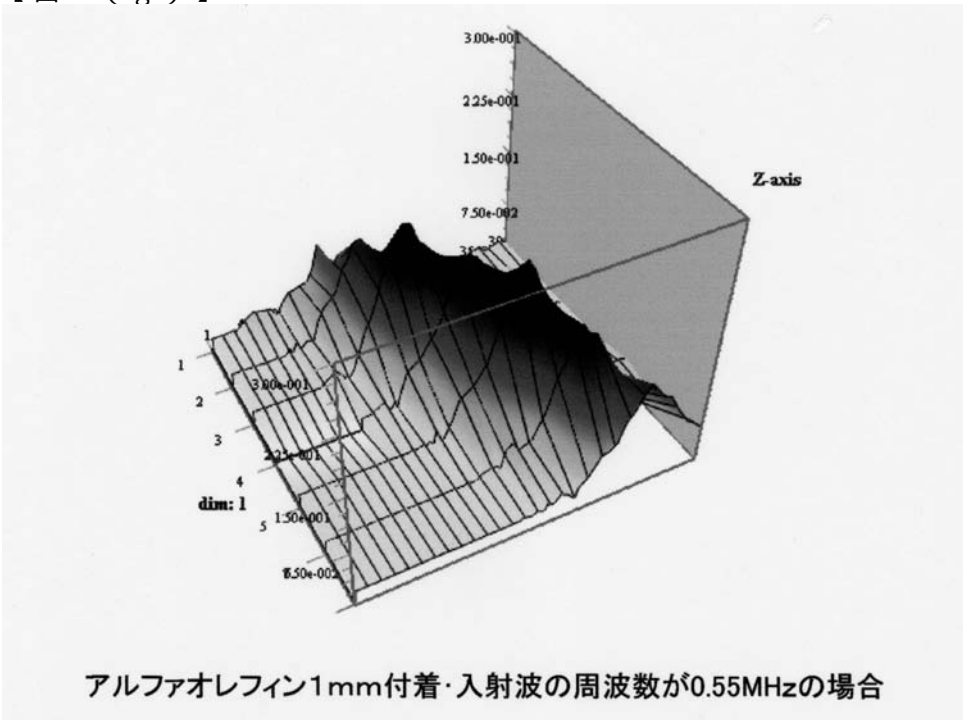
【 図 7 (e) 】



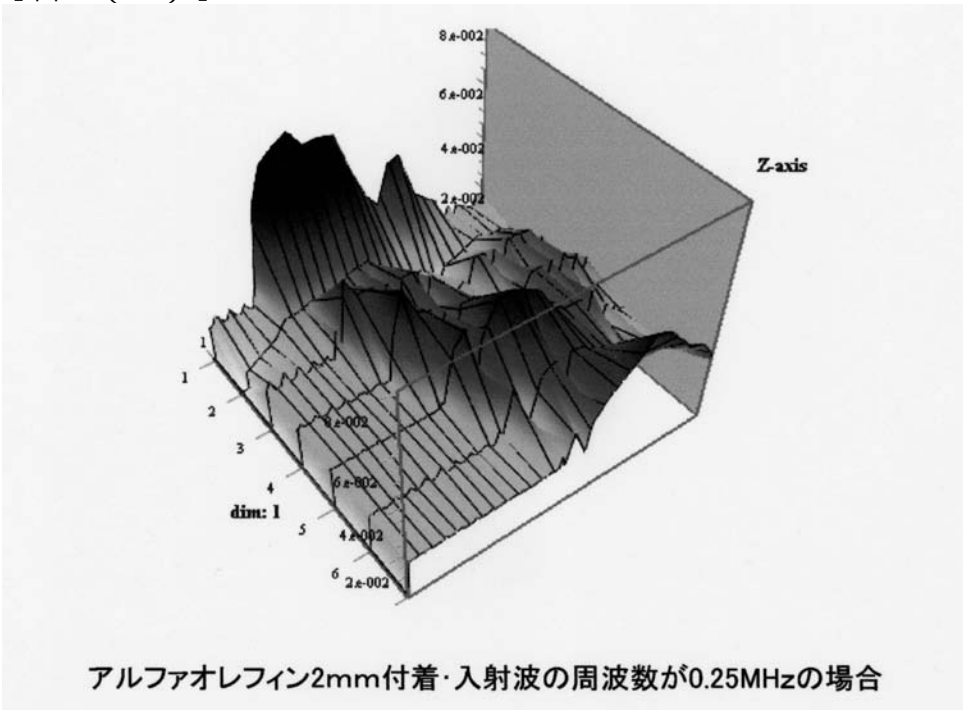
【 図 7 (f) 】



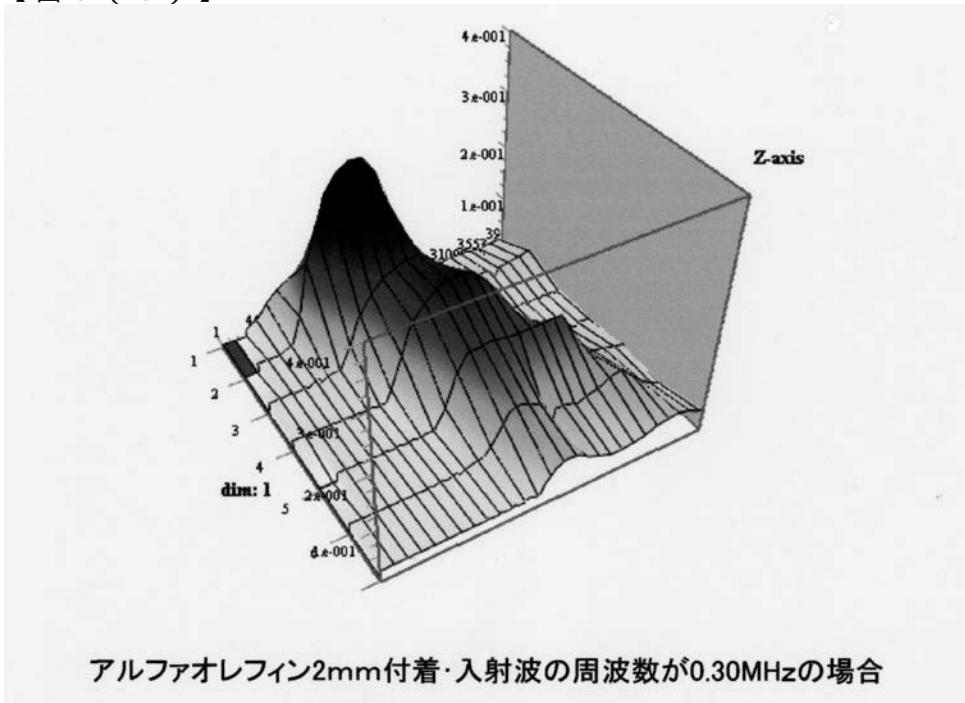
【 図 7 (g) 】



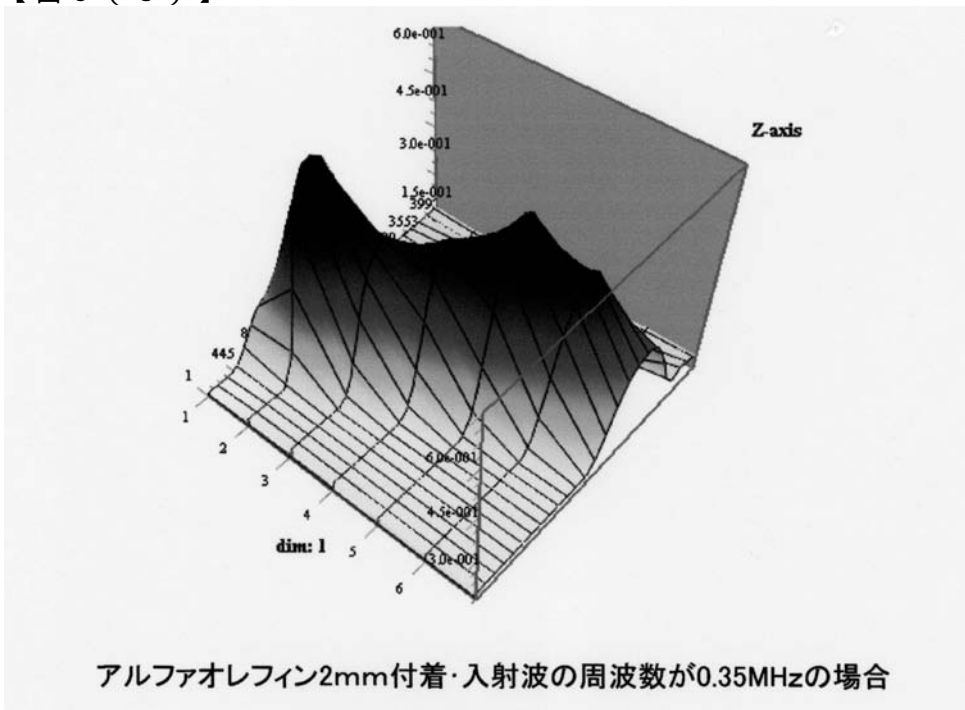
【 図 8 (a) 】



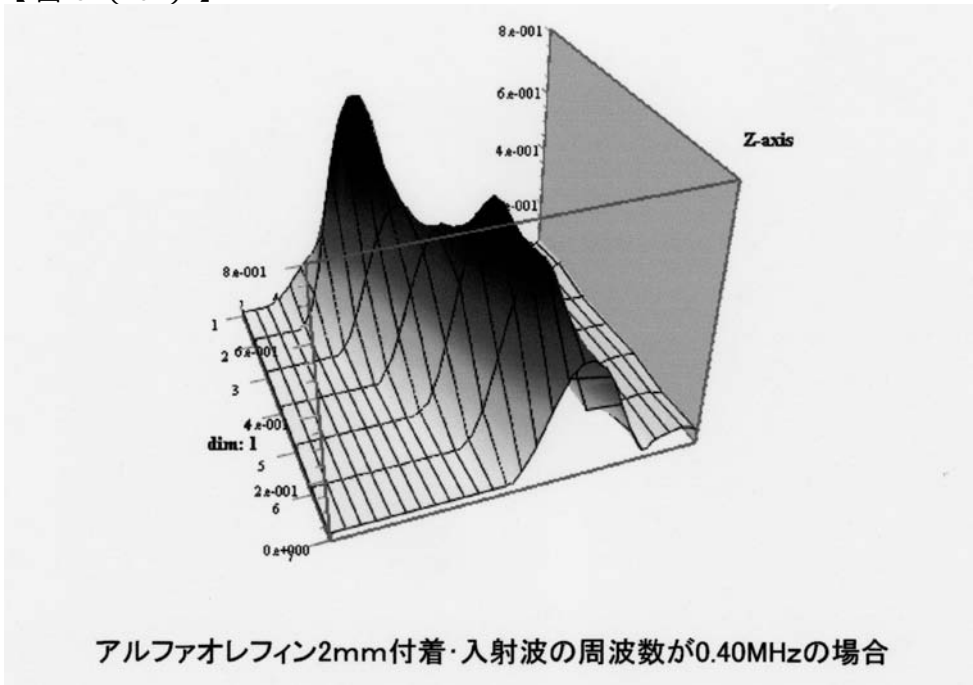
【 図 8 (b) 】



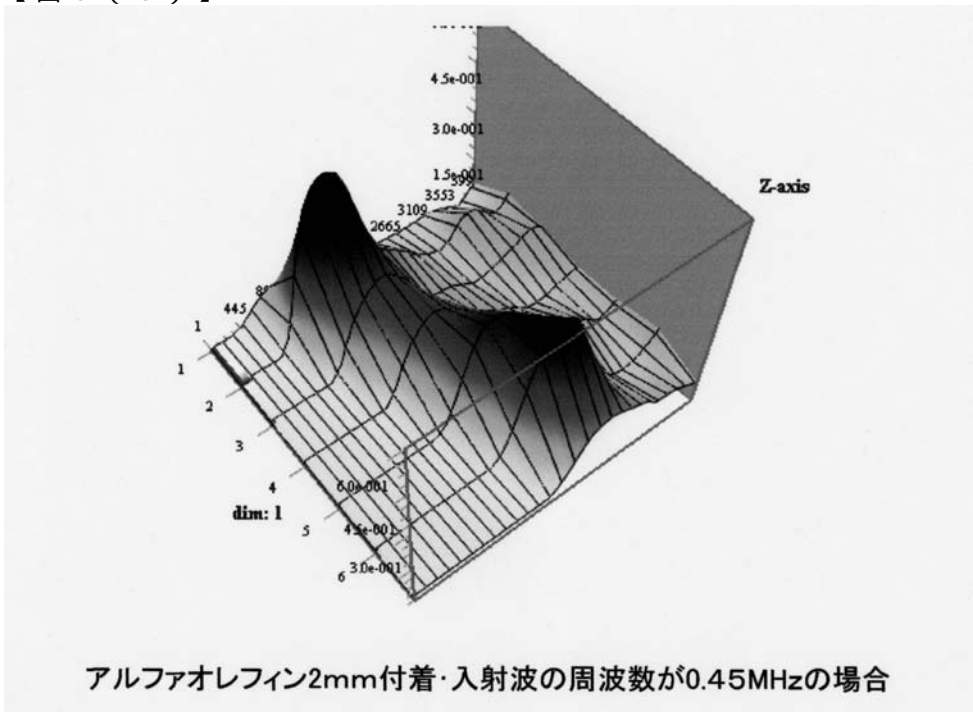
【 図 8 (c) 】



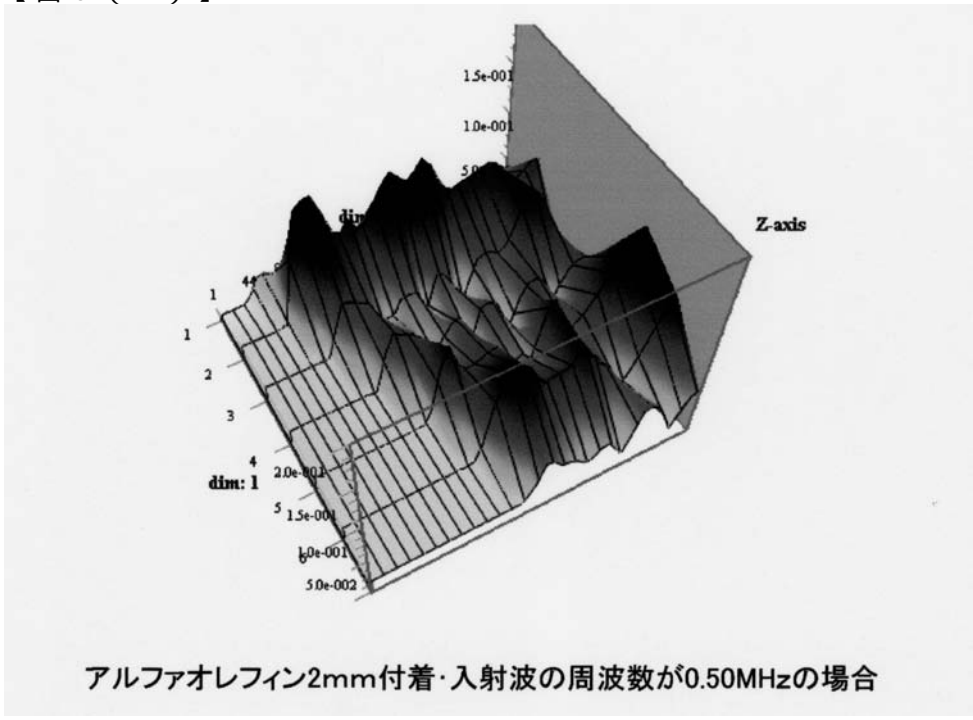
【 図 8 (d) 】



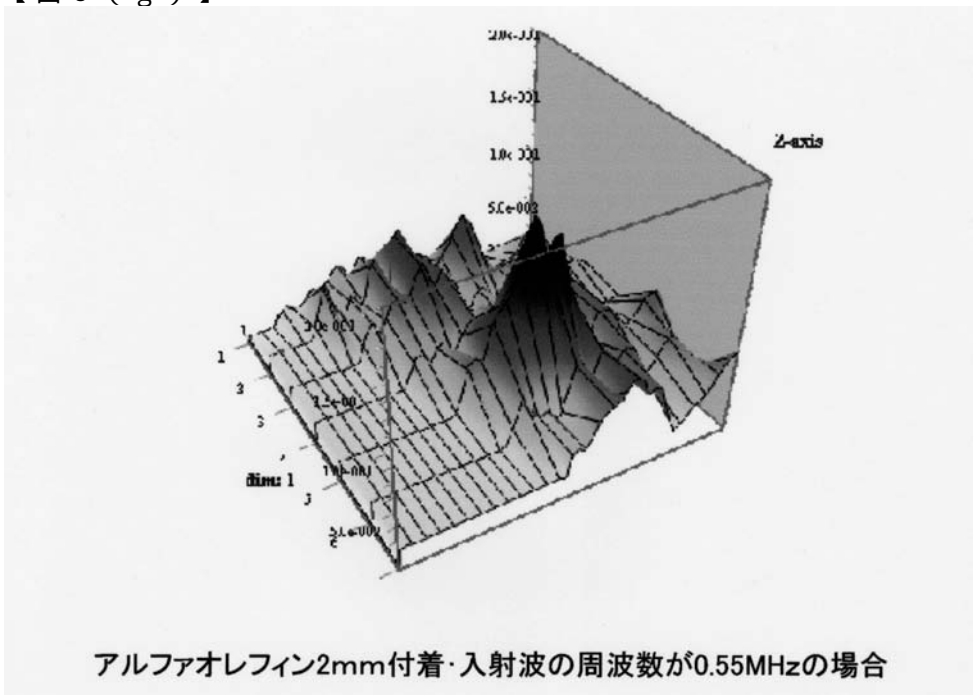
【 図 8 (e) 】



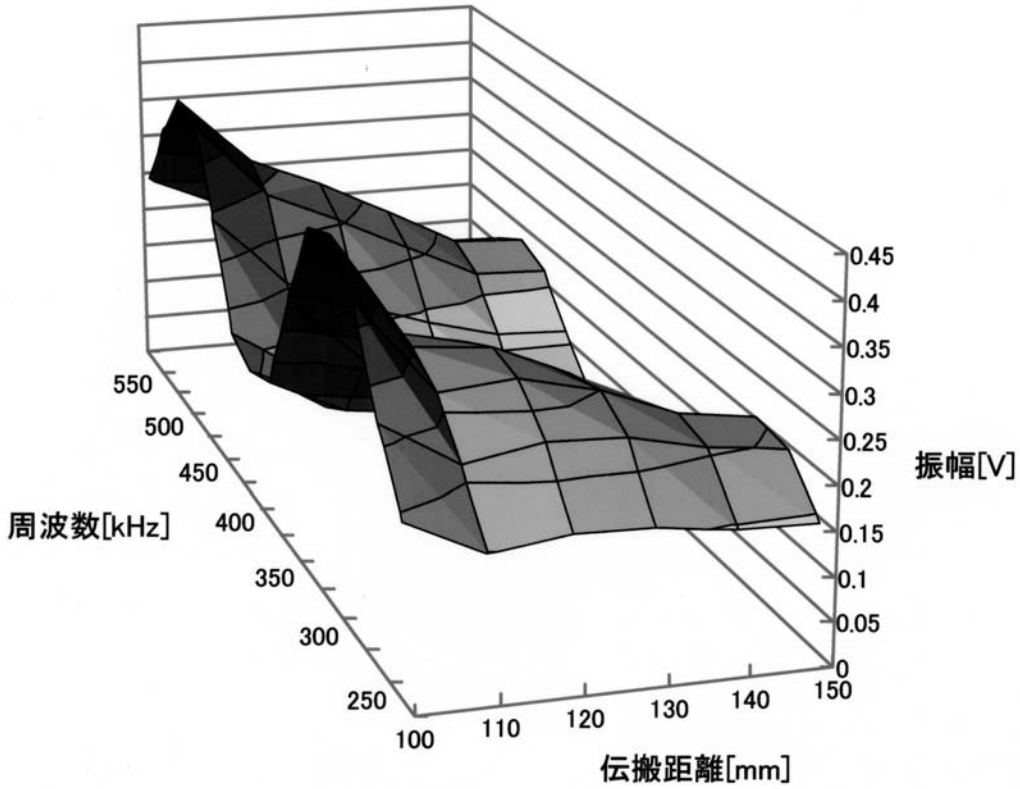
【 図 8 (f) 】



【 図 8 (g) 】

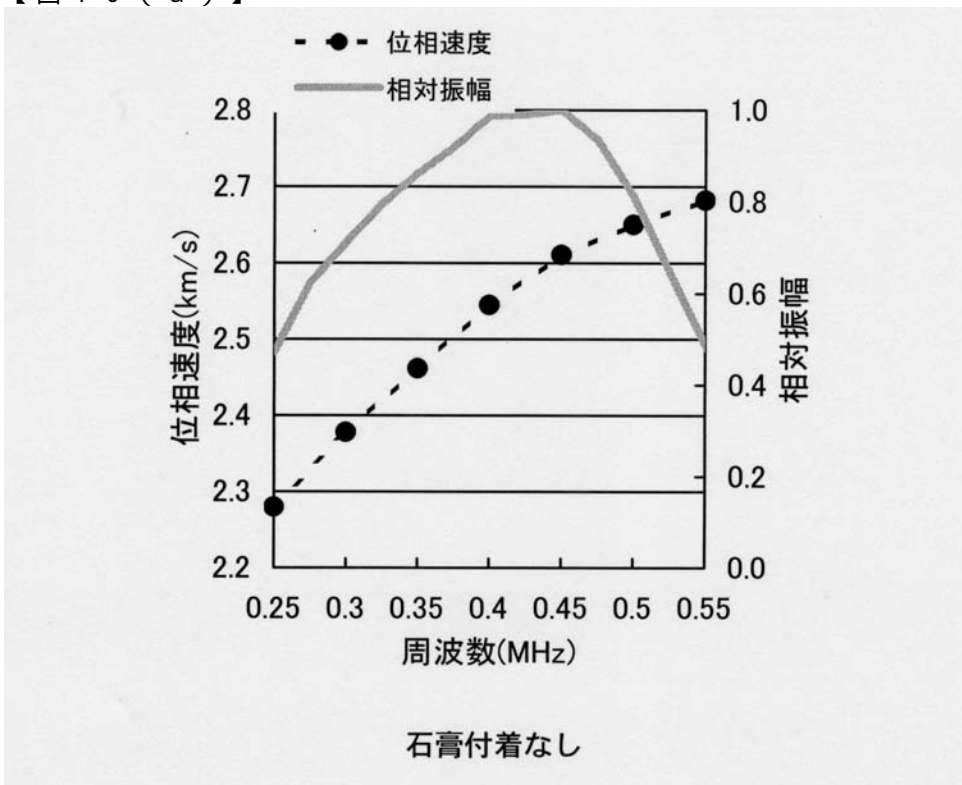


【 図 9 】

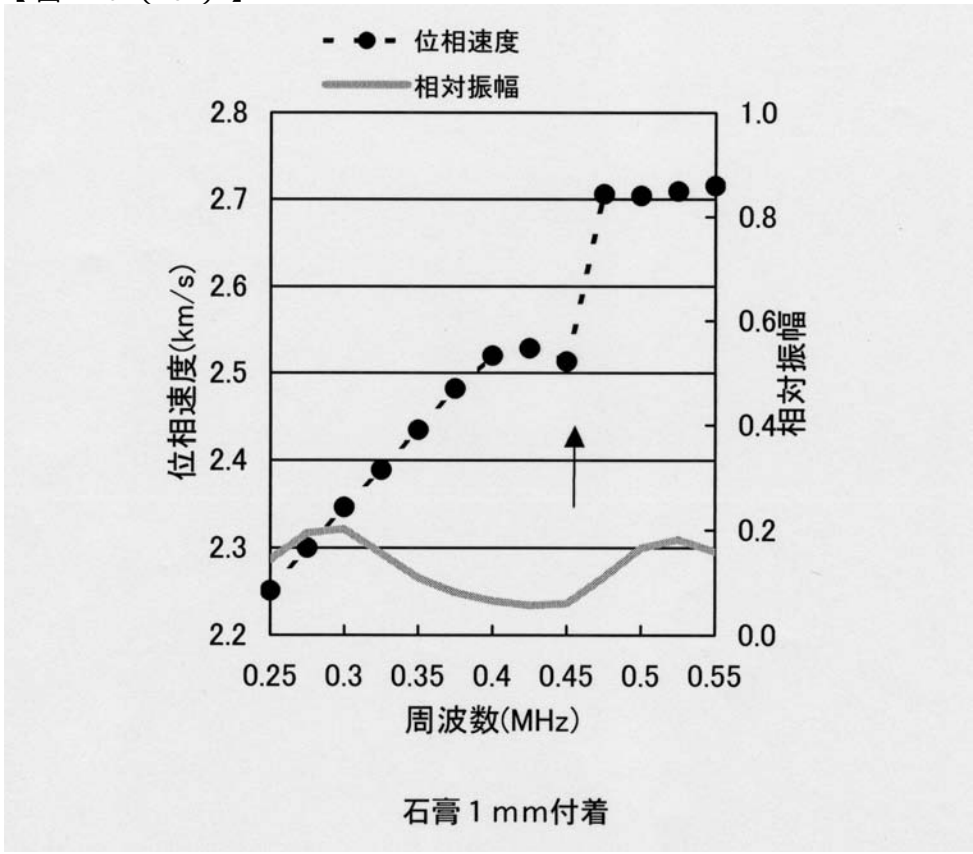


アルファオレフィン 1 mm 附着・最大振幅—伝播距離—周波数の関係

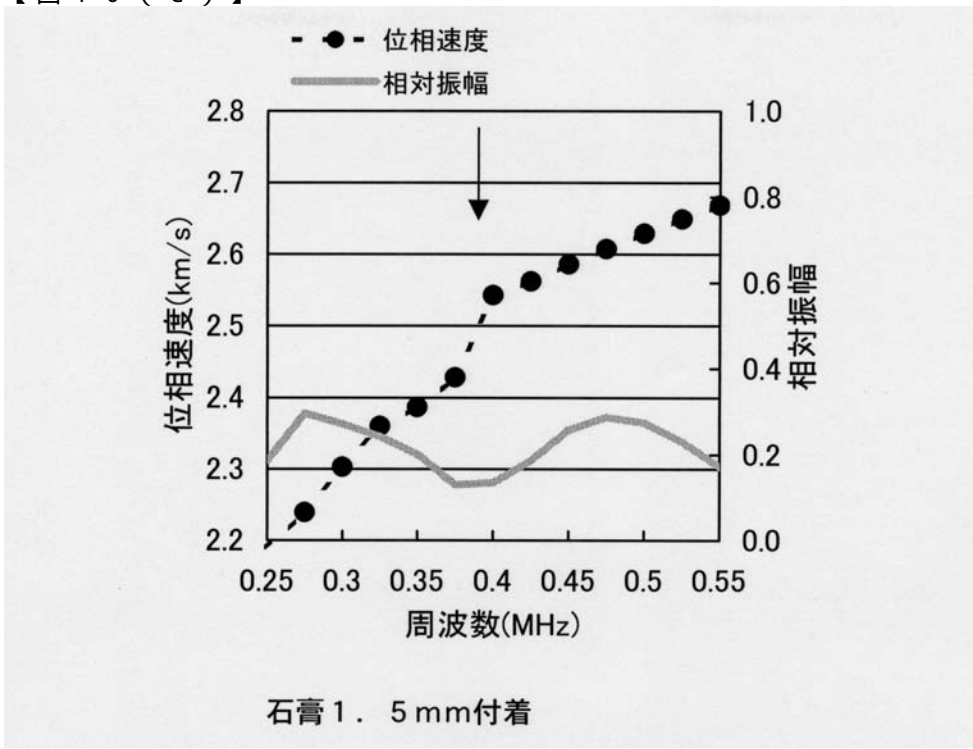
【 図 10 (a) 】



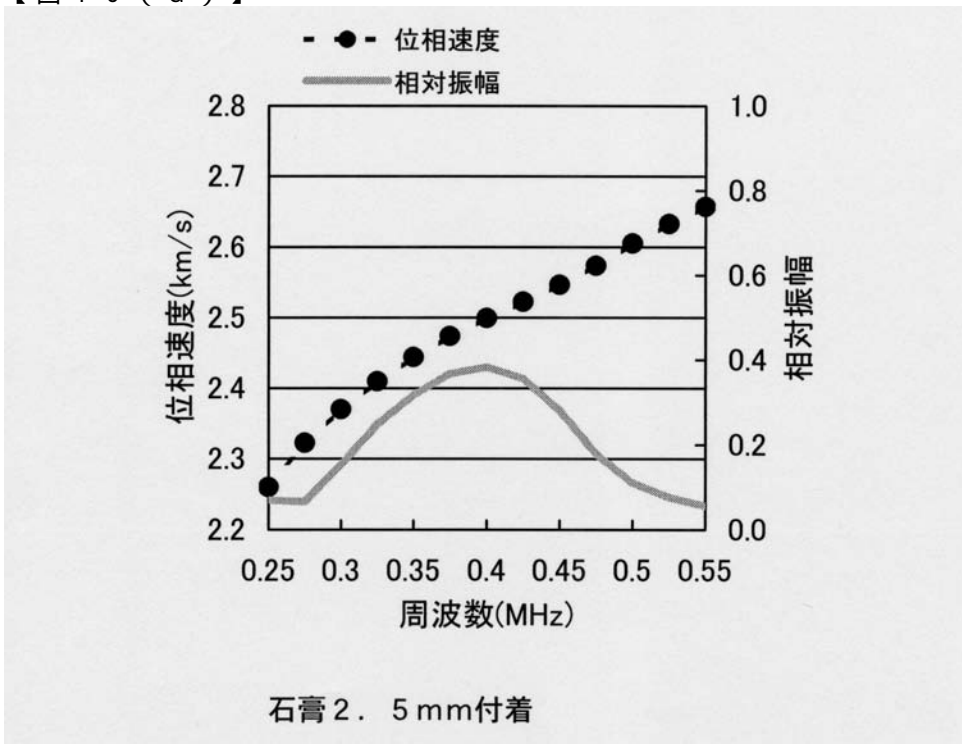
【图 10 (b)】



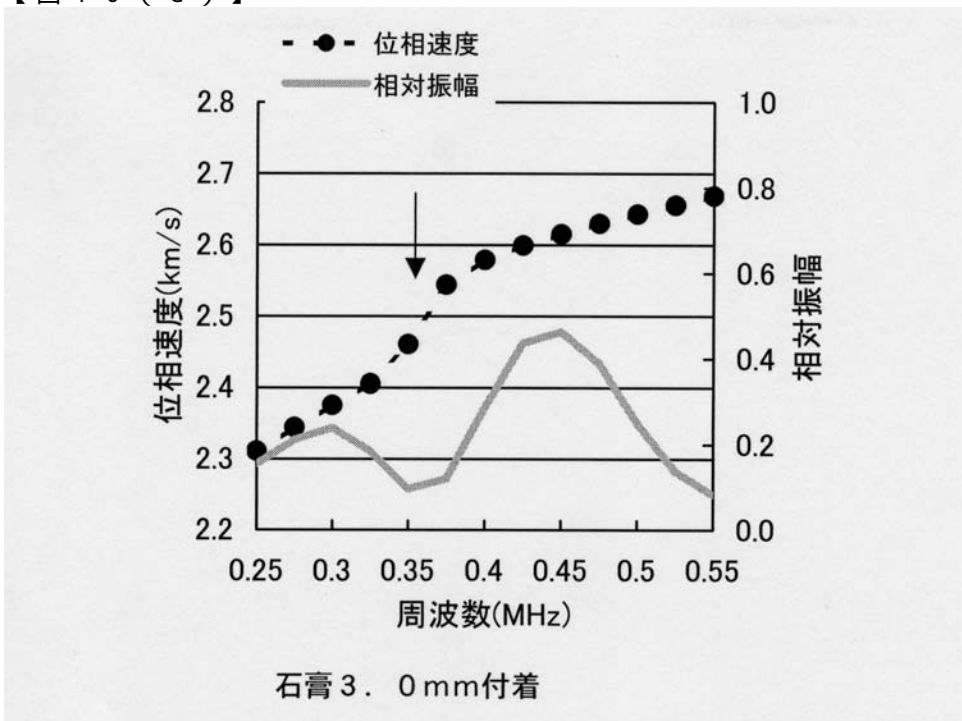
【图 10 (c)】



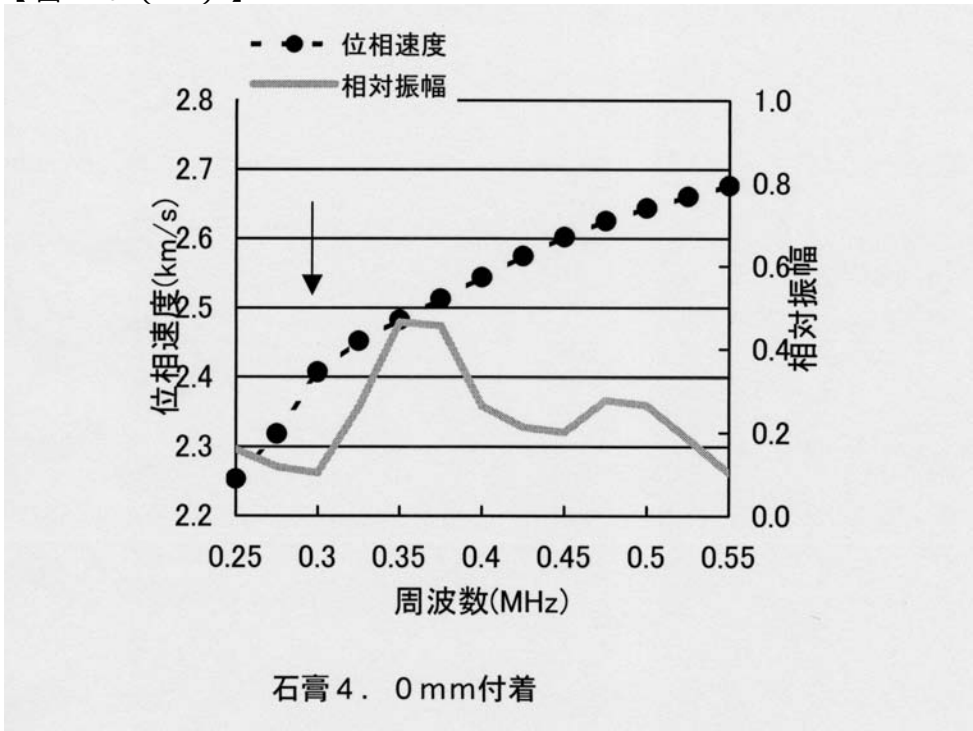
【图 10 (d)】



【图 10 (e)】



【图 10 (f)】



フロントページの続き

(72)発明者 村田 頼信
和歌山県和歌山市栄谷 9 3 0 国立大学法人和歌山大学システム工学科内

(72)発明者 井口 博文
岡山県倉敷市潮通三丁目 1 0 番地 三菱化学株式会社内

(72)発明者 岩橋 茂雄
岡山県倉敷市潮通三丁目 1 0 番地 三菱化学株式会社内

(72)発明者 渡辺 圭
岡山県倉敷市潮通三丁目 1 0 番地 三菱化学株式会社内

F ターム(参考) 2F068 AA28 BB09 BB14 CC05 CC09 DD11 FF04 FF11 FF24 FF25
HH04 JJ12 KK15 QQ23
2G047 AA07 AB01 BC02 BC03 BC04 BC18 CB04 GF08 GH09