

**入射音圧保証型
超音波探触子の開発**

高知工科大学知能機械システム工学科

学籍番号 1010138

氏名 上條敬一郎

指導教員 竹内彰敏

目次

1 緒論	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 論文構成.....	2
2 入射音圧保証型超音波探傷システム	3
2.1 膜厚とエネルギー反射率の関係.....	3
2.2 基準エコーと裏面エコーの関係.....	5
2.3 装置構成.....	6
2.4 入射音圧保証型探傷システムの構成要素.....	7
2.4.1 ピエゾドライバ.....	7
2.4.2 A/D コンバータ.....	8
2.4.3 圧電アクチュエータ.....	9
2.4.4 探触子.....	9
3 実験条件の検討と実験方法	11
3.1 試験片.....	11
3.2 移動速度.....	11
3.3 実験方法.....	12
4 実験結果	14
4.1 実験結果.....	14
4.1.1 探傷器の感度調整と膜厚調整による裏面エコー高さの違い.....	14
4.1.2 探触子を走査したときのエコー高さ変化.....	14
4.1.3 速度の違いによるエコー高さ平均値と最大変化の違い.....	14
4.2 測定結果の考察.....	18
4.2.1 探傷器の感度調整と膜厚調整による裏面エコー高さの違い.....	18

4.2.2	探触子を走査したときのエコー高さ変化.....	19
4.2.3	速度の違いによるエコー高さ平均値と最大変化の違い.....	19
5	結論	20
5.1	本研究の結論.....	20
5.2	今後の課題.....	20
A	中間層の厚さ変化による超音波エネルギーの反射率計算プログラムソース	22
B	データ取得，保存用プログラム	27
C	前刷	48

第 1 章

緒論

1.1 研究背景

材料中を伝搬する超音波の伝搬特性は、材料内部のき裂、残留応力分布、集合組織などの材料の巨視的状态はもとより、結晶構造、転位組織、空孔分布などの材料固有の微視的組織構造とも深く関連する^[1]。

しかし、材料の表面粗さやそれに伴う探傷位置でのカプラント膜厚の不均一さは、被験材への超音波の入射音圧に大きく影響するため、上述因子の影響の把握に際し、大きな誤差原因となる。そこで、カプラントの音響インピーダンスに近いポリスチレン樹脂を遅延材に使用するほか、探触子と被験材表面との間に数波長程度以下のギャップを設けその間に水を充満させ探傷するギャップ法、探触子のまわりにケースあるいは薄膜を設けて局部的に水柱を形成させて探傷する局部水浸法の利用^[2]により表面粗さの影響を軽減する方法が採られてきた。これにより、感度補正の作業を省略し探傷手順を簡略化することが出来た。しかし、本報で用いる試験片と同程度の粗さ面の場合、エコー高さの変動は 10%と大きく、微少な内部き裂や結晶構造の違いを正確に捉えることはできない。例えば、格子欠陥による音波の減衰を敏感に捉えることや、傷の深さ方向への検出性能を向上にはより精度よい測定が必要となってくる。

ところで一般的に被験材への入射音圧は、探触子界面からの反射エコー高さにより決まる。それについては本論文の 2.1 で詳しく説明している。要は、粗さ面の場所場所での探触子界面からの反射エコー高さが一定になるよう、カプラント膜厚を調整することにより、入射音圧を一定に保つ探触子構造が重要となる。

本研究では、圧電アクチュエータによるカプラント膜厚の調整が可能な探触子の開発を行い、本探触子による入射音圧保証の可能性を検証した。

1.2 研究目的

本研究の目的をまとめる。

測定装置の製作

圧電アクチュエータ，市販探触子を組み込んだ新しい探触子の設計ならび製作，探傷機から，基準となる探触子界面の反射エコー高さデータを受取り，グラフに表示し，圧電アクチュエータに送る電圧を調整することにより圧電アクチュエータを伸縮し膜厚を変化させるソフトの開発。

粗さの違う面での測定結果の比較をするため，粗さの違う 2 つの面を持った試験片の製作。

実験条件の確立

圧電アクチュエータの変位限界に対して決まる，膜厚調整可能な試験片粗さの決定。アクチュエータへの電圧印加と実際の膜厚変化の時間遅れに起因する，膜厚調整可能な探触子移動速度の決定。

1.3 論文構成

この論文は全 5 章から構成される。2 章では入射音圧保証型超音波探傷システムの構成，構成機器の仕様を示し，入射音圧を保証するシステムを紹介する。3 章で実験条件の考察を行い，本研究で用いる実験条件を示す。4 章で実験の結果を示す。5 章でこの研究の総括，今後の課題について述べる。

第 2 章

入射音圧保証型超音波探傷システム

この章では、膜厚と音圧反射率の関係について説明を行う。続いて、基準反射波と裏面反射波の関係についての解説をし、装置の全体構成を述べ、膜厚を調整し反射音圧を一定に保つ仕組みについて述べる。

2.1 膜厚と音圧反射率の関係

異なる媒質が図 2.1 に示すように互いに平行な層をなしているときには媒質中に多重反射現象が生じ、それぞれの反射ごとに反射波と透過波が生ずる。このときの膜厚と反射率の関係は、一般的に式 2.1 で与えられる^[3]。Z は物質 1,2,3 の音響インピーダンス^[4]を c_2 には中間層内での音速、f は超音波の周波数、l は中間層の厚さの値をそれぞれ示している。Z₁ にアクリル(3.1kg/m³)を Z₂ にはマシン油(1.3 kg/m³)、Z₃ には鋼(41.5 kg/m³)の音響インピーダンス値を入れ、周波数(f)は 2MHz、中間層内の超音波の音速をマシン油は 1444.4m/s として l を変化させ計算した結果を図 2.2 に示した。

また、この計算をするために VB で作成したプログラムのソースを、付録として巻末に添付する。

図 2.2 のグラフは、 $l/\lambda = 1/4$ のとき反射率が最初の最大値となる。そのときの膜厚 l はアクリル マシン油 鉄のときは約 183 μm で、比較的设置がしやすく、減衰も少ないこの範囲内で膜厚を調整することを考える。また、この膜厚のばらつきを少なくするため、粗さの谷の部分に入り込んでいくようなゴム膜を遅延材に貼りつけた。

$$\left| \frac{A_r}{A_i} \right| = \frac{\sqrt{\left(\frac{Z_1}{Z_3} - 1\right)^2 + \left(\frac{Z_1}{Z_2} - \frac{Z_2}{Z_3}\right)^2 \tan^2 q_2}}{\sqrt{\left(\frac{Z_1}{Z_3} + 1\right)^2 + \left(\frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_2}{Z_3}\right)^2 \tan^2 q_2}} \quad (2.1)$$

$$\text{ただし } q_2 = \frac{2pl}{c_2/f} = 2p \frac{l}{\lambda_2} \quad \lambda_2 : \text{中間層内における波長}$$

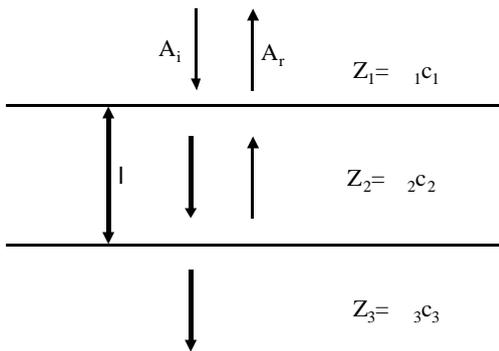


図2.1 中間層への垂直入射

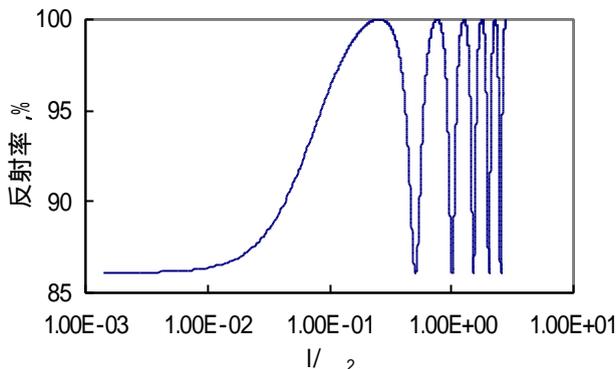


図2.2 中間層の厚さ変化による超音波エネルギー反射率計算値

アクリル製遅延材と試験片間の膜厚によってカプラント膜内の多重反射の影響が変化し、遅延材と試験片との界面エコーも変化する。この界面からのエコー高さを基準エコー高さとしている。先にも述べたように、今回膜厚の調整には圧電アクチュエータを用いた。図 2.3 に示してあるような探触子に組み込んである圧電アクチュエータに電圧を印加することにより膜厚が変化し、図 2.4 のようなエコー高さの変化を示した。理論値には式 2.1 の計算結果を使い、そのグラフと測定結果、膜厚の変化量を照らし合わせることで膜厚の調整範囲をおおよそ特定した。なお、エコー高さの実測値は、遅延材先端が完全な乾燥面のときを 100%としている。

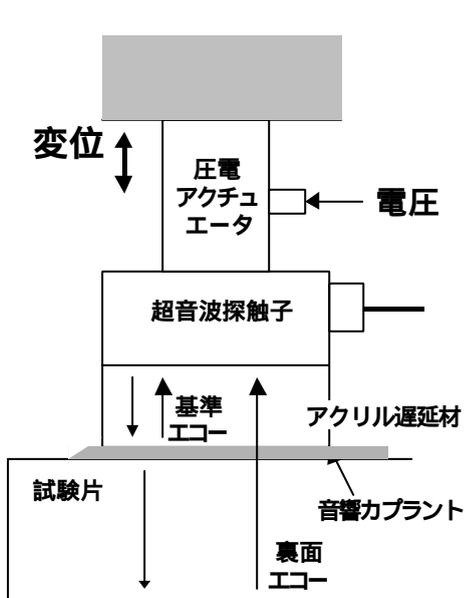


図2.3 探触子概要

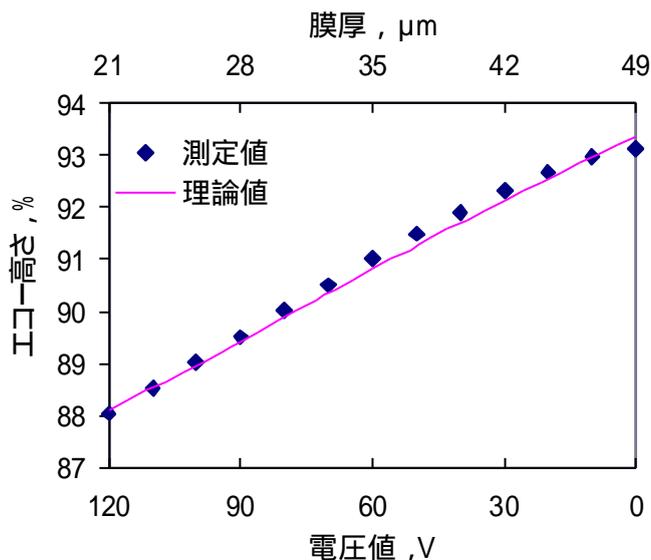


図2.4 膜厚 (アクチュエータ印加電圧) と基準エコー高さ

2.2 基準反射波と裏面反射波の関係

図 2.6b,c に探触子が静止状態での基準反射波と裏面反射波の関係を表したグラフを示した。図 2.5 のアクリル製遅延材試験片側表面にゴム膜を貼り付けた構造をもつ探触子を用い、試験片表面に音響カプラントを塗布して、探触子との間にできる薄いカプラント膜の厚さを制御することで一定音圧の入射を保証する方法を試みた。ゴム膜を貼り付けることによってゴム膜が粗さへのフィットにより、カプラント膜厚の不均一さが減少し膜厚を超音波波長に比べ薄くすることが可能である。図 2.6b で観測対象とする裏面反射波は裏面からの反射波最後部と探触子下面からの第 4 反射波の前部が干渉し合い、探触子の取付け状態の差が波形の違いに顕著な影響を及ぼす条件となっている。図 2.6a に示すような境界第 3 反射波を基準反射波として、その波形が同じになるよう探触子の設置具合を調整した場合の、裏面からの反射波を、 $R_y=1.06\ \mu\text{m}$ の平滑面、 $R_y=27.62\ \mu\text{m}$ の等方的な粗さを持った面、 $R_y=16.5\ \mu\text{m}$ の 2 次元的な平行な粗さを持った面の 3 種類の面について調べた結果を示してある。各面の基準反射波の相関が高くなれば入射される音波も相関が高くなり、自ずと裏面反射波の相関が高くなることが予想される。図 2.6c は裏面反射波の周波数解析結果を示している。どちらのグラフからも粗さ面の違いの影響は認められないことがわかる。特に周波数特性が同じであるということは振幅の変化量の違いや、位相差がない同じ波であることを示している。この結果、静止状態での膜厚制御による入射音圧保証ができる。

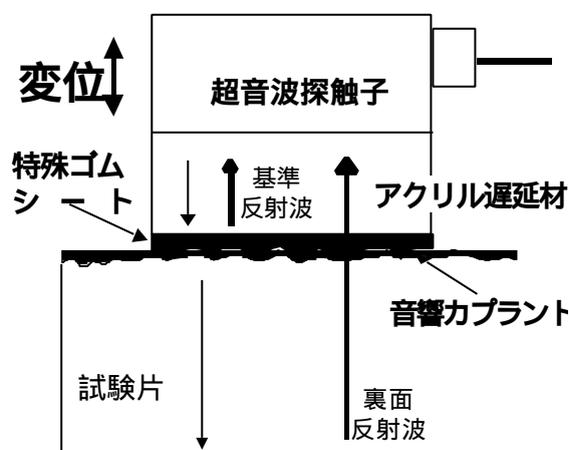


図 2.5 ゴム膜つき探触子

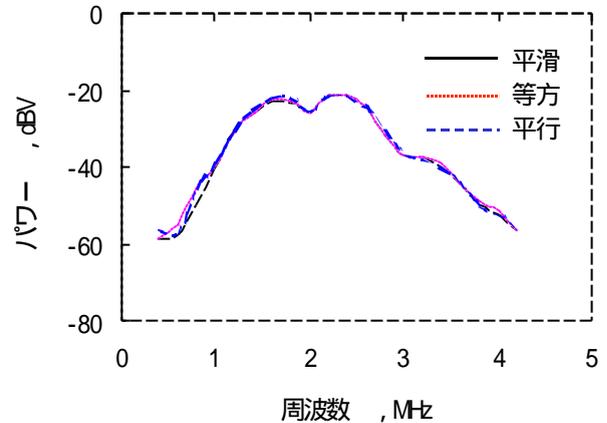
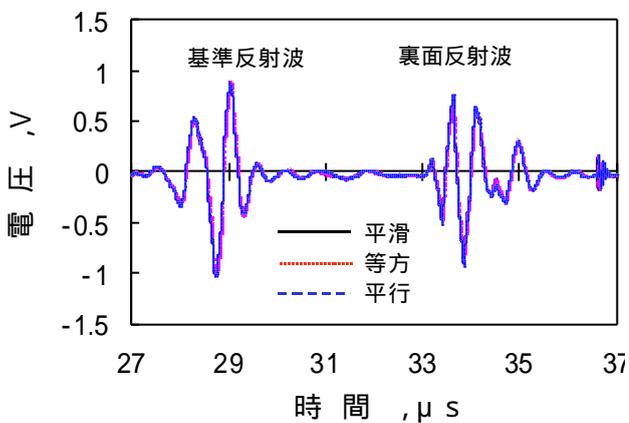
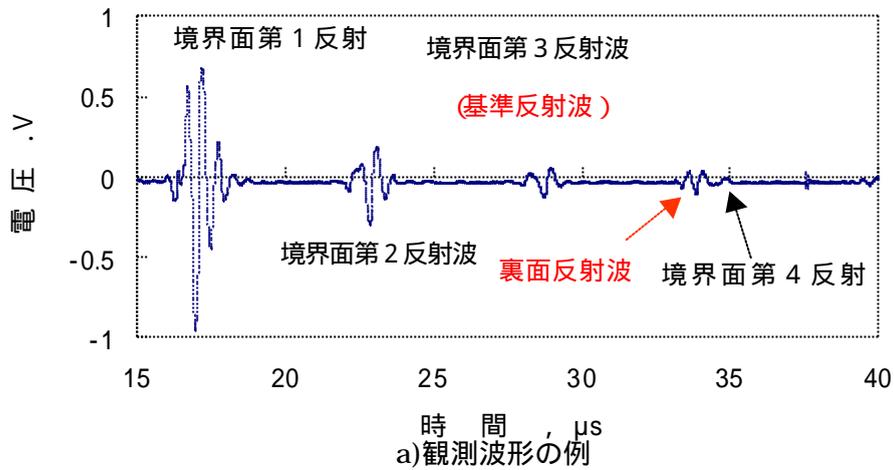


図 2.6 基準反射波と裏面反射波の関係

2.3 装置構成

図 2.7 に測定装置の全体構成を示した。磁石により被験材に吸着するようになっている台部分に圧電アクチュエータを取付け、アクチュエータ他端に市販探触子と遅延材を取り付けたホルダが固定される探触子構造である。

探触子から 2MHz の超音波を発信し、遅延材と試験片との界面からの第 1 エコーを探傷器に送り、その第 1 エコーの高さを基準エコー高さとして A/D コンバータを介してコンピュータに入力する。図 2.4 のアクチュエータ印加電圧とエコー高さとの関係を基に、現時点でのエコー高さと設定エコー高さとの差に応じたピエゾ

ドライバからの出力電圧になるよう、 piezodriver の制御電圧を決定し、アクチュエータを駆動して膜厚を調整することにより、場所場所での基準エコー高さを設定エコー高さに等しくすることができる。

前節で述べたように、この基準エコー高さを一定にできると入射音圧も一定になり、またそれにより裏面エコーも一定にできる。

データ取得、印加電圧調整用に作成したプログラムを付録として巻末に添付する。また、このプログラムは CONTEC 製 ActiveX Component ACX-PAC[W32] の簡易アナログ入力プログラムを改造したものである。

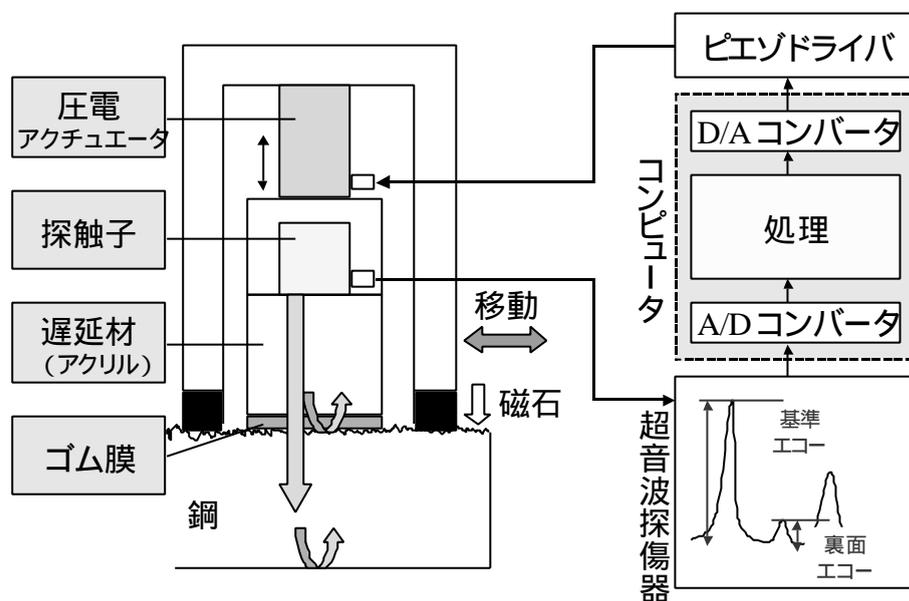


図2.7 入射音圧保証型超音波探傷システム

2.4 入射音圧保証型探傷システムの構成要素

2.4.1 ピエゾドライバ

piezodriver には、松定プレジジョン株式会社の HJPZ-3.0P × 3 を用いた。仕様を表 2.1 に示す。

表 2.1 ピエゾドライバの仕様

出力電圧	0 ~ 300[V]
平均出力電流	100[mA]
ピーク出力電流	300[mA]
外部入力電圧	0 ~ 10[V]

2.4.2 A/D コンバータ

A/D コンバータには、表 2.2 に示すような仕様の CONTEC 製 AD12-16(PCI)E を用いた^[5]。また式 2.2 より、bit あたりの電圧は 4.89mV である。

$$\frac{20[V]}{4096} = 4.89[mV/bit] \quad (2.2)$$

表 2.2 A/D ボードの仕様

入力	
入力レンジ	非絶縁バイポーラ ±10[V]
最大入力レンジ	±20[V]
入力インピーダンス	1[M]以上
分解能	12[bit]
非直線性誤差	±2 [LBS]
最大変換速度	10[μs]
出力	
出力レンジ	非絶縁バイポーラ ±10[V]
最大出力電流	±5[mA]
出力インピーダンス	1[]以下
分解能	12[bit]
非直線性誤差	±1/2[LSB]
最大変換速度	6[μs/ch]

測定にはシングルエンド 1 チャンネルを使用している。また、アナログ出力機能を使い、ピエゾドライバから圧電アクチュエータに印加される電圧を調整した。

2.4.3 圧電アクチュエータ

圧電アクチュエータには、表 2.3 と図 2.8 に示すような変位をする、富士セラミックス製 ML-30A の特注品を用いた。また、静電容量は 2.30[μ F]である。Up と Down で変位に若干のヒステリシスが認められるため、同じ膜厚変化を得るための印加電圧は、アクチュエータの変位方向によって、多少異なることになる。

表 2.3 圧電アクチュエータの変位

電 圧 [V]	変位[μ m]	
	UP	DOWN
0	0	1
10	1	5
20	3	8
30	5	12
40	8	15
50	11	17
60	14	20
70	16	23
80	19	24
90	22	27
100	24	29
110	26	31
120	28	32
130	30	34
140	32	34
150	34	34

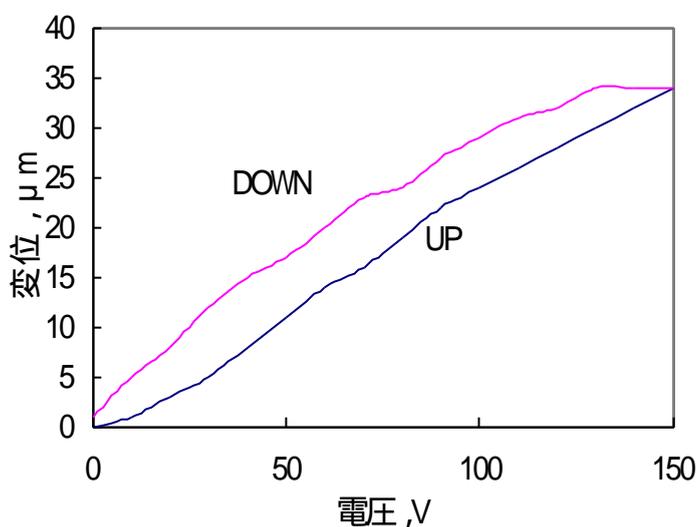


図28 圧電アクチュエータの変位

2.4.4 市販探触子

市販探触子には表に示すような仕様の株式会社ジャパンプローブ製のものを用いた。仕様を表 2.4 に示す。

表 2.4 探触子の仕様

周波数帯域幅	普通
公称周波数	2[MHz]
振動子材料	圧電磁器
振動子の直径	10[mm]
形式	垂直探触子

遅延材にはアクリルを用い、その先端面に厚さ 0.5mm のゴム膜を貼付けた。

第 3 章

実験条件の検討と実験方法の決定

3.1 試験片

試験片の粗さは極力滑らかな物からアクチュエータの最大変位である 30 μm までの範囲で決定することにした。S45C の磨き材に不規則な粗さを持つような鏝で削った面と 1200 番のサンドペーパーで磨いた面の 2 種類の面を創生した。図 3.1 にイメージと粗さパラメータの測定結果を示す。

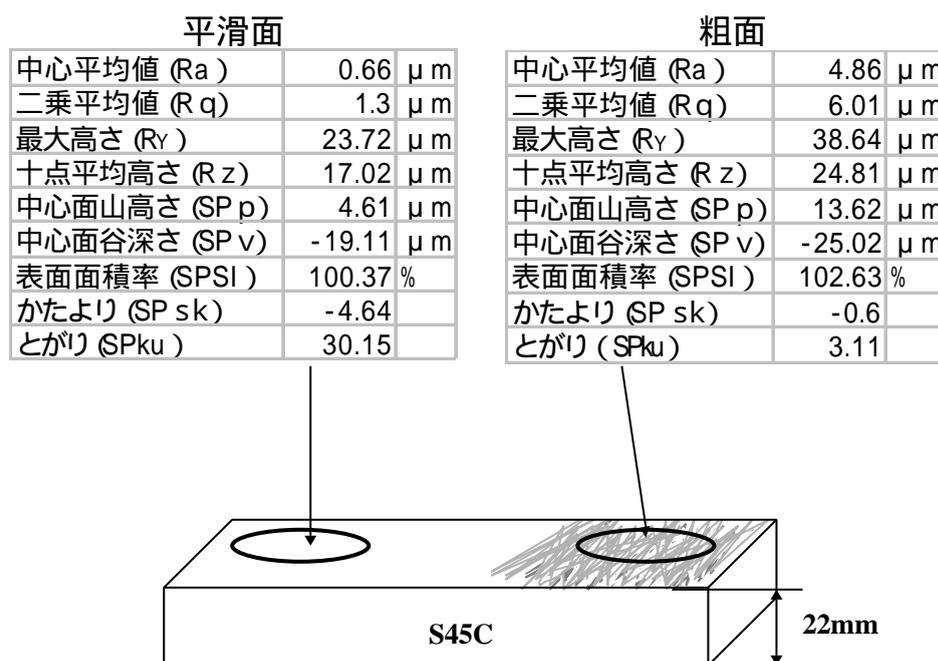


図3.1 試験片の粗さ

3.2 移動速度

移動速度は、図 3.2 からわかるように電圧が変化してからエコー高さが変化しだすまでに約 0.4 秒かかり、印加停止後にエコー高さが安定するまでにさらに約 0.7

秒かかる。探触子と試験片との接触面の直径が 12mm で、外周の 2mm は感度が悪くほとんど反応を示さない。アクチュエータでの膜厚調整が、場所場所で異なる粗さ面のうねりに十分追従できるよう、約 1.25mm/s から 6.25mm/s の低走査速度の下で実験を行った。測定では、平行に移動するステージに探触子を固定し、試験片上を一定速度で走査した。

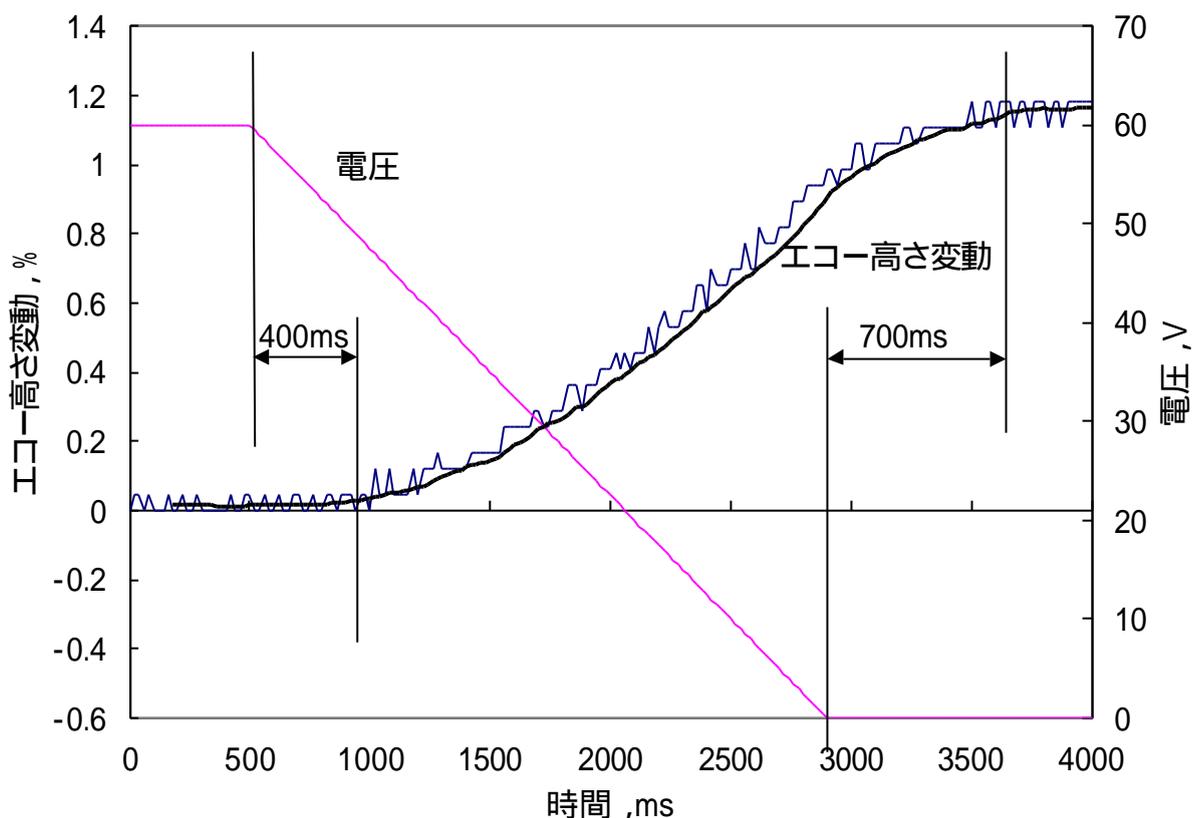


図3.2 電圧変化とエコー高さの反応

3.3 実験方法

実験 1 探傷器の感度を調整したときと膜厚を調整したときの裏面エコー高さの比較

探触子を静止した状態で、探触子境界面からの第 1 反射波のエコー(基準エコー)高さを探傷器の利得調整で設定値に調整した場合と、圧電アクチュエータによる膜

厚調整で調整した場合とで、裏面エコー高さがそれぞれどのように変化するか調べる。なお、調整後の基準エコー高さと裏面エコー高さを、それぞれの初期状態でのエコー高さで標準化して表し、評価する。

実験 2 探触子を走査した場合のエコー高さ変化

探触子境界面からのエコー高さ変動に及ぼす膜厚調整の影響を観測し、膜厚の調整により無調整に比べて基準エコー高さの変動を抑制できることを確かめる。

測定開始点における探触子境界面からの第 1 反射波のエコー(基準エコー)高さを、探傷器の感度調整により設定エコー高さに合わせ、その状態からゆっくりと 2.5mm/s の速度で探触子を走査し、エコー高さの変化を観測する。これをゴム膜、膜厚の調整のあるなし、表面粗さの違う面でそれぞれ測定する。なお、設定エコー高さを 100%とし、その値からの増減をエコー高さ変動として%で表した。

実験 3 移動速度の違いによるエコー高さ平均値と最大変化の違い

遅延材先端にゴム膜を貼り付けた状態で、探触子の移動速度を 3.2 節で述べた範囲内で変化させ、基準エコーの挙動を観測する。それぞれの速度で 3 回ずつ測定を行い、走査時のエコー変動の平均値と最大変化を求め、走査速度の影響を把握する。これにより、この速度範囲内での入射音圧保証の可能性を確かめる。

4 章

実験結果

4.1.1 実験 1 探傷器の感度を調整したときと膜厚を調整したときの裏面エコー高さの比較

測定結果を図 4.2 に示す。

4.1.2 実験 2 探触子を動かしたときのエコー高さ変化

測定結果を図 4.3 に示す。

4.1.3 実験 3 速度の違いによるエコー高さ平均値と最大変化の違い

測定結果を図 4.4 に示す。

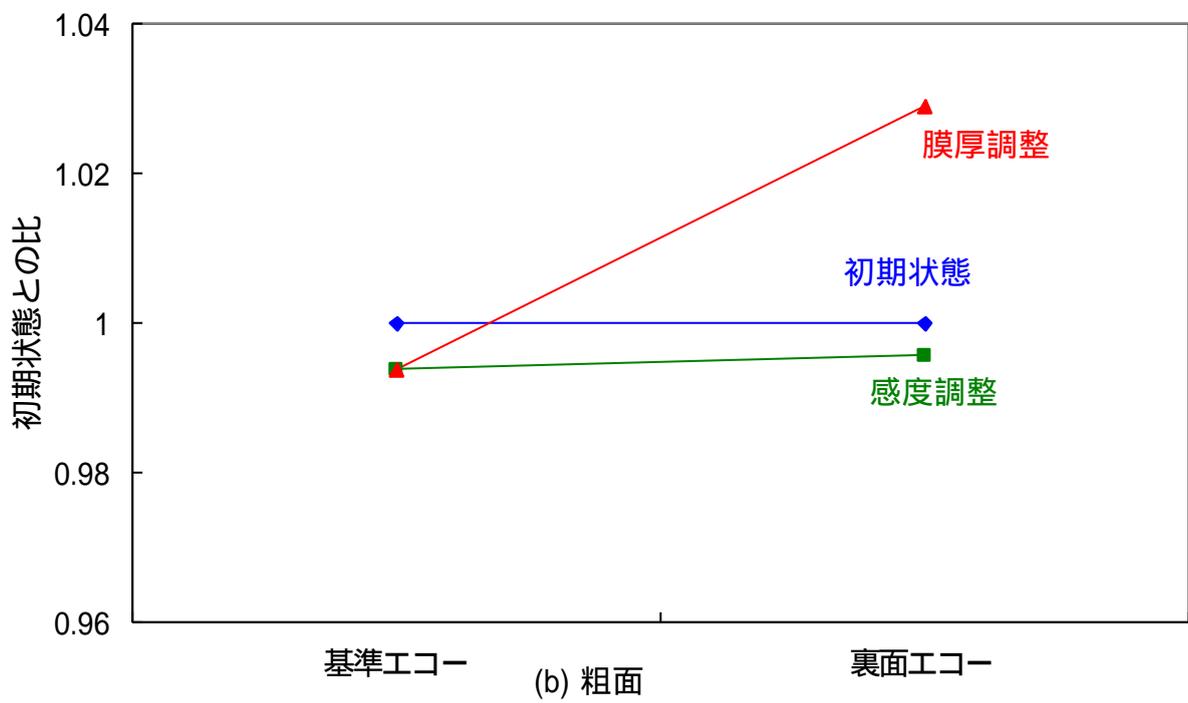
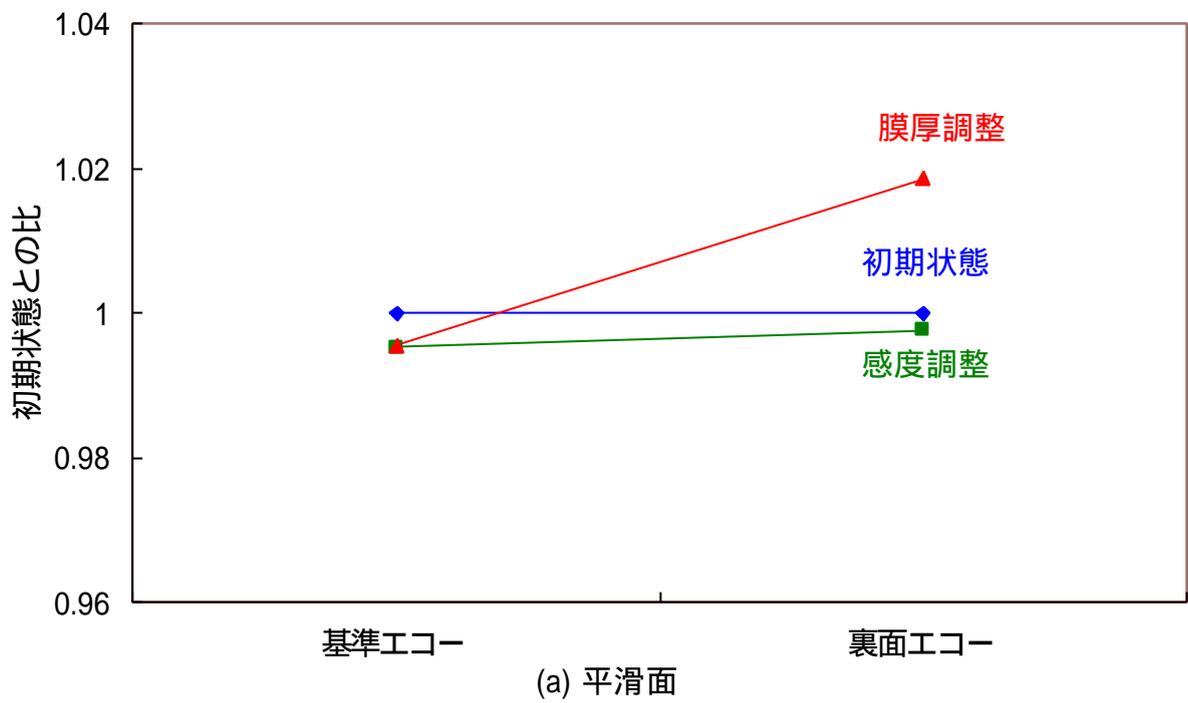


図 4.1 実験 2 結果

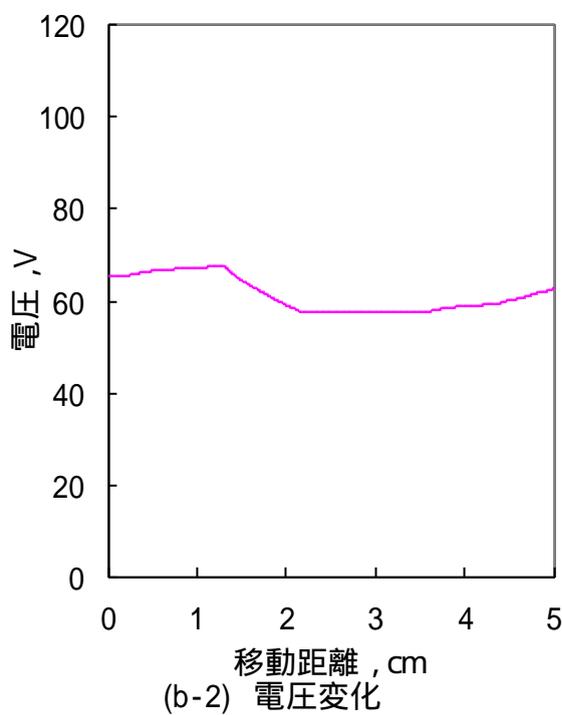
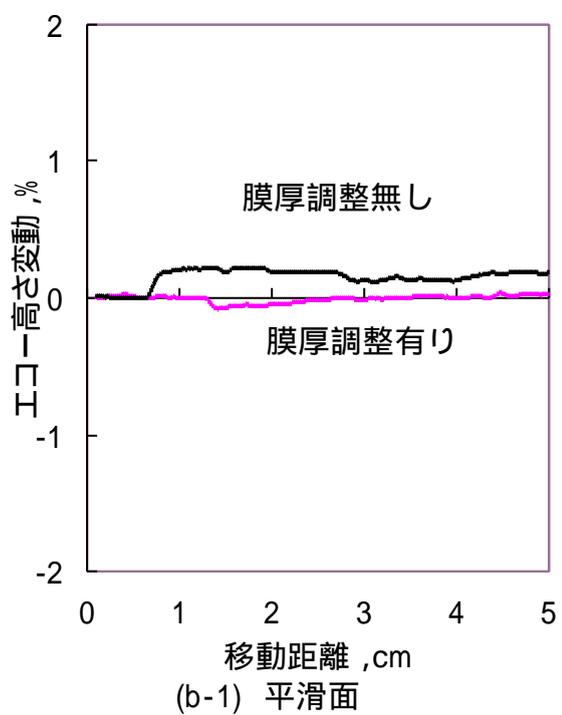
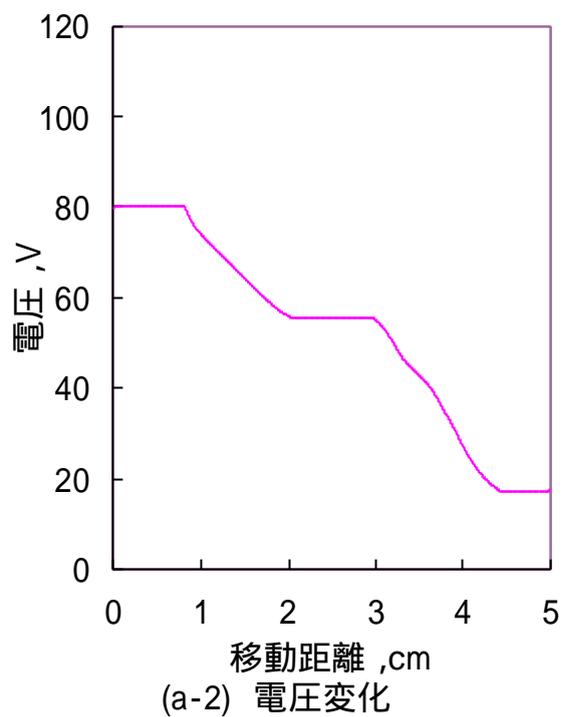
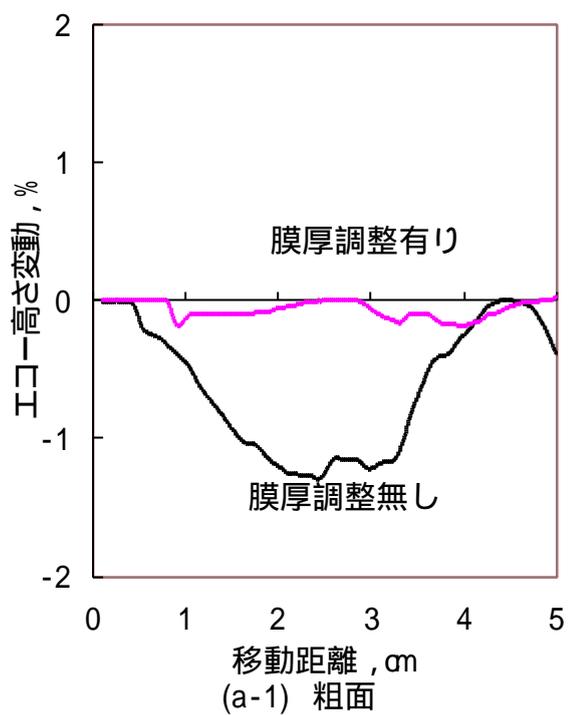


図 4.2.1 実験 2 ゴム膜有り

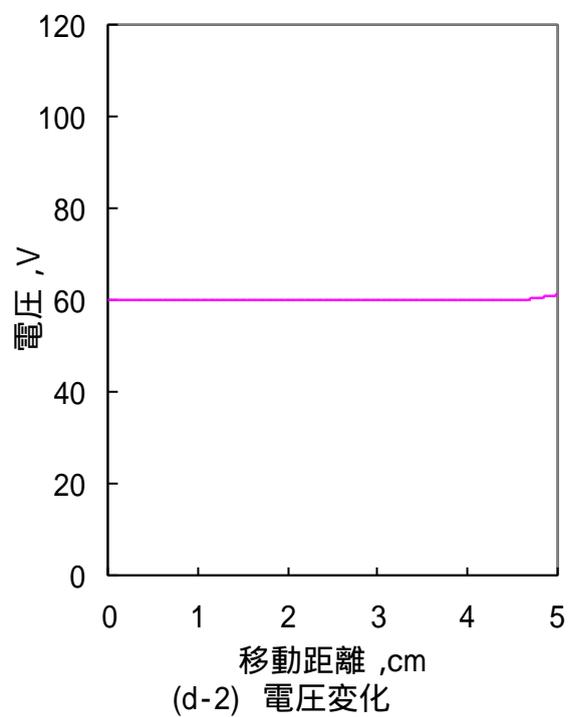
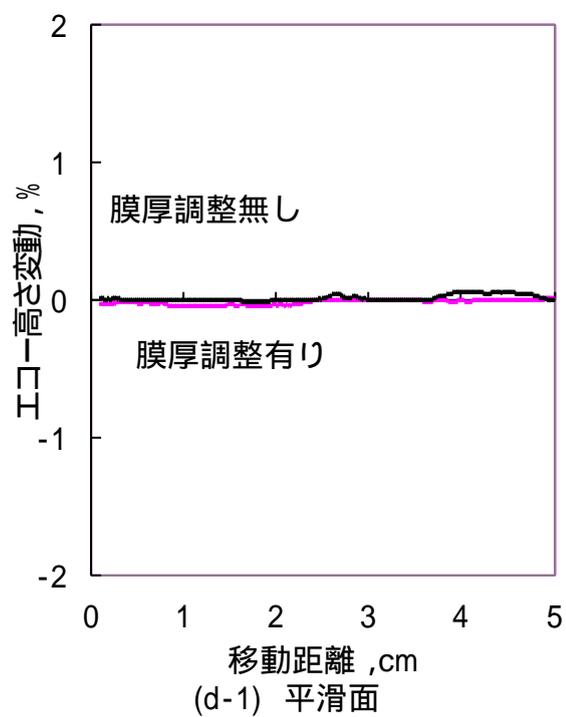
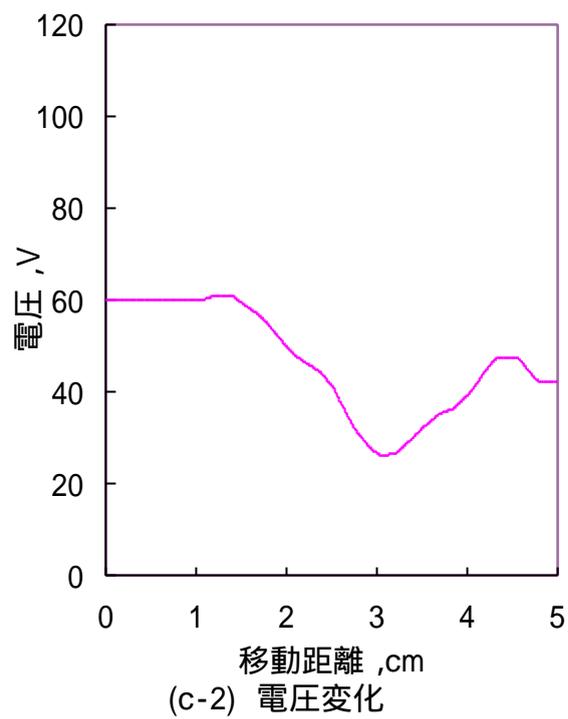
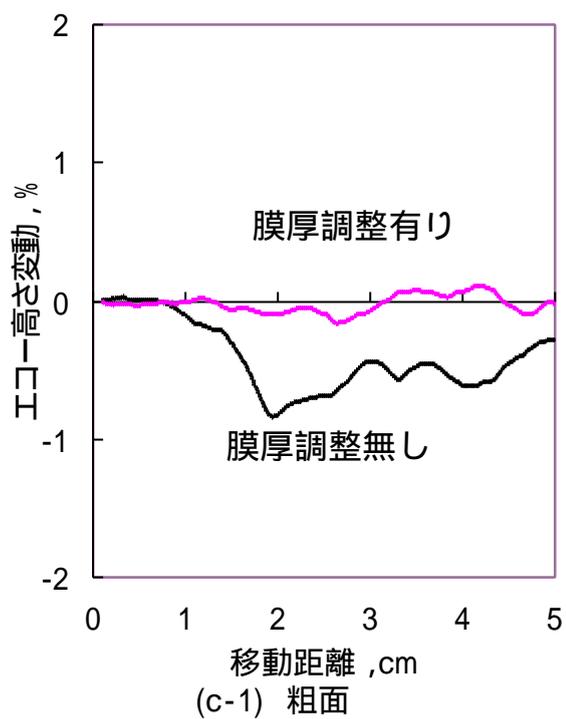


図 4.2.2 実験 2 ゴム膜無し

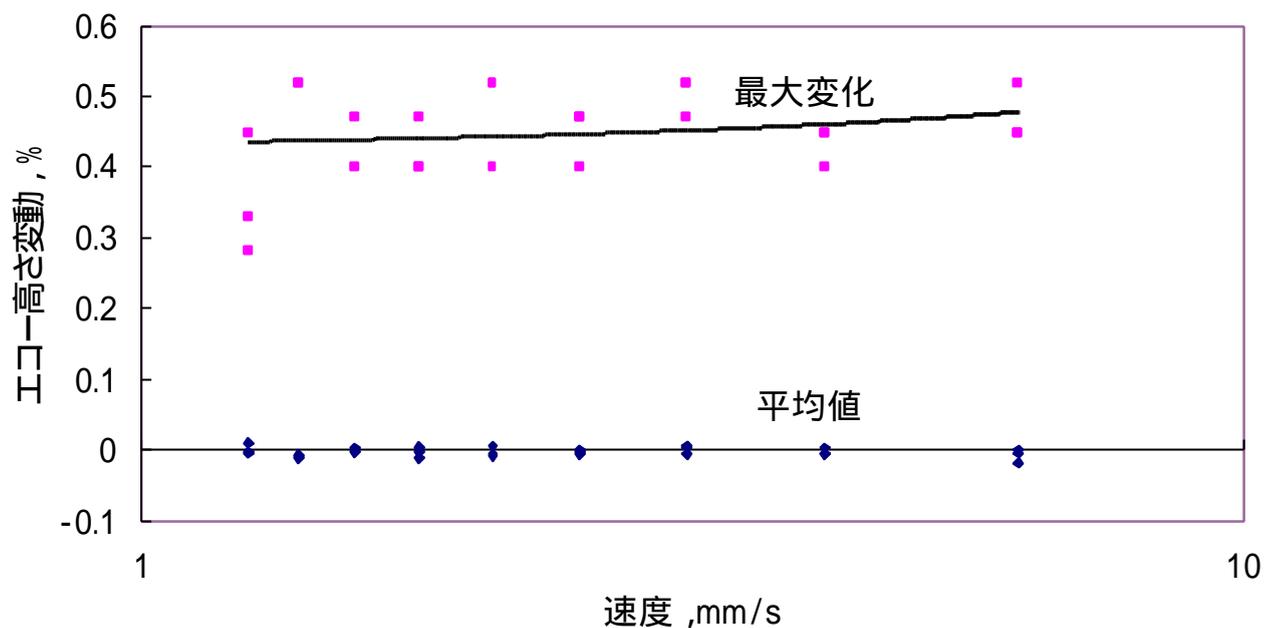


図4.3 速度の違いによるエコー高さ変動の違い

4.2 測定結果の考察

エコー高さに関するグラフはすべて 20 点の移動平均を取り，グラフの変化を見やすくした。

4.2.1 実験 1 探傷器の感度を調整したときと膜厚を調整したときの裏面エコー高さの比較

初期状態での探触子境界面からの第 1 反射波のエコー(基準エコー)高さと設定エコー高さとの差を，探傷器の利得調整で調整した場合と，圧電アクチュエータによる膜厚調整で補正した場合を比較すると，基準エコー高さはどちらも同じ値になるように調整したにもかかわらず，利得を調整した場合，裏面からのエコー高さが基準エコー高さとはほぼ同じ割合だけ下がっていることがわかる。利得調整では，入射音圧そのものが変化するわけではなく，入力された反射エコーを単に減衰させて表示しているためであり，すべてのエコーの高さが同じ割合で減少してしまうので

ある。

それに対して、膜厚を調整した場合には、初期状態と比べ 2%~3%エコー高さが高くなっている。これは膜厚を薄くして遅延材と試験片の界面からの音波の反射率を低下させた分、試験片への音圧透過割合を増すことができたためである。

つまり、境界面からの反射エコーの調整により、入射音圧を変化させることが可能な膜厚調整法によって、初めて、被検材への一定入射音圧の保証が可能となるわけである。

4.2.2 実験 2 探触子を動かしたときのエコー高さ変化

粗面の場合、膜厚の調整の有無により、エコー高さの変動のし方が大きく異なっている。膜厚を調整しない場合のエコー高さは、移動時の場所場所での面粗さの違いにより大きく変動し、最大 1.4%程度低くなるのに対し、膜厚調整をした場合の変動は 0.3%以内に納まっている。この傾向は平滑面の場合も変わらないが膜厚調整の効果は粗面のときほどではない。

また、ゴム膜がない状態とゴム膜がある状態ではゴム膜がないほうがエコー高さの変動が少なくなった。これはゴム膜表面の形状がゴム膜のない剛な接触面を持つ通常のアクリル製遅延材と比べ凹凸が大きく、膜厚が厚くなる部分と薄くなる部分が顕著に現れたからだと考えられる。今回の実験では、磁石の吸着力の限界から、ゴム膜面を試験片表面の粗さに十分にフィットさせることができず、上述のような結果となったが、このような不十分な条件下であっても、無調整の場合に比べて、基準エコーの変動を 1/5 程度に抑えられたことは、本測定法の実用面への適用にとり有効な示唆といえる。

4.2.3 実験 3 速度の違いによるエコー高さ平均値と最大変化の違い

エコー高さ変動の平均値はどの速度でも 0 に近い値になった。最大変化も速度によってそれほど大きく変わることはなく 0.3%から 0.5%の範囲でほぼ一定値になった。この速度の範囲内では膜厚の調整により基準エコー高さをほぼ一定にすることが可能であるといえそうである。

5 章

結論

5.1 本研究の結論

本研究の成果をまとめる。

実験装置の製作

圧電素子，探触子，マグネットを組み込み固定する台を製作し改良した。また，2種類の異なった粗さを持つ試験片の製作をした。

ソフトの開発については，CONTEC 製 ActiveX Component ACX-PAC[W32]の簡易アナログ入力プログラムを改造し，データセーブ機能，電圧出力機能，圧電素子保護機能などを付け容易にデータの記録が行えるようになった。

低速での膜厚の調整による入射音圧の保証

粗面の場合，膜厚の調整の有無により，エコー高さの変動のし方が大きく異なり膜厚調整をしたほうがエコー高さの変動が少なくなった。さらに 6.25mm/s 以下の低速での探触子境界面からの第 1 反射波のエコー(基準エコー)高さ変動の最大変化を膜厚の調整により 0.3%から 0.5%の範囲に抑えることができた。これらのことから膜厚調整による入射音圧保証の可能性を明らかにできたといえる。

5.2 今後の課題

今後の課題をまとめる。

様々な表面粗さでの実験

今回の研究では 2 種類の表面粗さでしか実験を行っていない。ブラスト処理を施した面やフライス削り，形削りで加工した面などの代表的な加工面や様々な粗さの異なった面を持つ試験片で実験をすることにより，このシステムの有効性を確認するほか，粗さの適応範囲の確定をし，さらに試験片裏面の影響も考慮し、実用に耐えるシステムになるよう改良を加える必要がある。

移動装置の開発

今回は手動で探触子を動かしたが，より正確で様々な速度での測定を容易にするために，移動速度を自由に設定できる移動装置の開発が必要である。

膜厚調整部の膜厚調整範囲を広める

今回の研究で使った圧電アクチュエータでは，変位が小さすぎ，より粗い面への対応が難しい。また，圧電素子の脆いという性質上，急激な電圧の変化による大きな変位を得ることは難しい。圧電アクチュエータを変位の大きなものに変更する，他の方法との併用などにより膜厚調整範囲を広める必要がある。

制御系の開発

探傷試験はコスト的な問題などから試験時間の短縮が求められる。しかし，今回の実験のような移動速度(最大 6.25mm/s)では膨大な時間がかかってしまうのは確実であり，移動速度の高速化が必要となってくる。よって，より高速な移動速度での測定を可能にするため，膜厚の変化により早く対応をするよう膜厚調整部の制御系の開発が必要である。

参考文献

- [1]小林道明，鈴木智法，三浦節男，大森誠一；機論，65-638，A
- [2]石井勇五郎；新版非破壊検査工学，産報出版，1993
- [3]山本美明；超音波基礎工学，日刊工業新聞社
- [4]実吉純一，菊池喜充，能本乙彦；超音波技術便覧，日刊工業新聞社，1991
- [5]PC-HELPER 解説書，株式会社コンテック

付録 A

中間層の厚さ変化による

超音波エネルギーの反射率計算プログラムソース

```
'-----  
Dim Z1, Z2, Z3, l, k, ramuda, V2, F As Single  
Dim z13, z12, z23, a1, a2, a3, a4, a5, hansya As Double  
Dim filename As String
```

```
'-----  
'-----ボタンクリックで計算 データ保存
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
'-----数値読みこみ
```

```
Z1 = Val(tZ1.Text)
```

```
Z2 = Val(tZ2.Text)
```

```
Z3 = Val(tZ3.Text)
```

```
F = Val(tF.Text)
```

```
V2 = Val(tV2.Text)
```

```
'-----計算
```

```
ramuda = V2 / F
```

```
k = 2 * 3.14159 / ramuda
```

```
z12 = Z1 / Z2
```

```
z13 = Z1 / Z3
```

```
z23 = Z2 / Z3
```

```
a1 = z13 - 1
```

```
a3 = z13 + 1
```

```
'-----ドライブパス, フォルダ ¥有る無し
```

```
If Right(Dir1.Path, 1) = "¥" Then
```

```
    FileName = Dir1.Path & filenamebox
```

```
Else
```

```
    FileName = Dir1.Path & "¥" & filenamebox.Text & ".csv"  
End If
```

```
'-----データ保存
```

```
Open FileName For Output As #1
```

```
    Print #1, "l/ "; "; "; "%"
```

```
    For l = 0 To 2000
```

```
        a2 = (z12 - z23) * Tan(k * l * 0.000001)
```

```
        a4 = (z12 - z23) * Tan(k * l * 0.000001)
```

```
        a5 = (a1 ^ 2 + a2 ^ 2) / (a3 ^ 2 + a4 ^ 2)
```

```
        hansya = Sqr(a5) * 100
```

```
        Print #1, l * 0.000001 / ramuda; ";"; hansya
```

```
    Next l
```

```
Close #1
```

```
End Sub
```

```
'-----
```

```
'-----フォルダ選択
```

```
Private Sub Dir1_Change()
```

```
    File1.Path = Dir1.Path
```

```
End Sub
```

```
'-----
```

```
'-----ドライブ選択
```

```
Private Sub Drive1_Change()
```

```
Dir1.Path = Drive1.Drive
```

```
End Sub
```

```
'-----
```

```
'-----ファイル選択
```

```
Private Sub File1_Click()
```

```
    filenamebox.Text = File1.FileName
```

```
End Sub
```

付録 B

データ取得，保存用プログラム

```

'-----
Option Explicit
Dim Ret As Integer
Dim i As Integer
Const MAX_GRP_X = 1000          グラフの X 軸の幅(点数)
Dim GrpXPos As Long            'X 軸の現在位置を保存
Dim Buffer() As Single          データ保存用
Dim LastVoltRange As Integer    '16 進表示を戻すときのレンジを保存
Dim hData(MAX_GRP_X), hDatab(MAX_GRP_X), vo(MAX_GRP_X) As Single
Dim vd(MAX_GRP_X), sad(MAX_GRP_X), sao(MAX_GRP_X) As Single
Dim dv(MAX_GRP_X), dv2(MAX_GRP_X), dvd(MAX_GRP_X), dvdv2(2) As Single
Dim dv2d(MAX_GRP_X), h2Datab(MAX_GRP_X), h2Data(MAX_GRP_X) As Single
Dim h, sa, asa, v, sasa, bsa, bai, atai, mem, h2 As Double
Dim a, b, c, mokuhyochi As Integer
Dim dvold, dvn, dv2n, vold, vv, h0 As Single
Dim hed As String
Dim flag As Byte

```

```

'-----
'-----タイマイイベント
'-----A/D 変換をします
Private Sub AcxAio1_Timer()

    lblData.Caption = ""          表示を消去します。
    Ret = AcxAio1.AcquireData(Buffer) データ取得
    If Ret = 0 Then
        h = Format(Buffer(0), "0.000")
    End If

```

```
hData(GrpXPos) = Format(h, "0.000")
h2 = Format(Buffer(1), "0.0000")
'-----ラベル表示
lblData.Caption = lblData.Caption & "No." & 0 & " = " &_
    Format(Buffer(0), "0.000") '& Chr(13)
```

```
'-----グラフ表示
AcxXY1.DisplayDataY GrpXPos, Buffer, 1
AcxXY2.DisplayDataY GrpXPos, Val(v), 1
AcxXY3.DisplayDataY GrpXPos, Val(sa), 1
AcxXY4.DisplayDataY GrpXPos, Val(h2), 1
```

```
'-----電圧調整部分
```

```
sa = h0 - h
```

```
'-----停止判断
```

```
If teishi.Value = 1 Then
```

```
    If v < mokuhyochi - 0.3 Then
```

```
        v = v + 0.3
```

```
        vold = v
```

```
    ElseIf v > mokuhyochi + 0.3 Then
```

```
        v = v - 0.3
```

```
        vold = v
```

```
    Else
```

```

v = mokuhyochi
vold = v

End If
GoTo 100
End If

'-----ノイズ対策
If Abs(sa) <= 0.0005 Then
    asa = 1
    GoTo 100
End If

If asa = 1 Then
    If Abs(sa) < 0.003 Then GoTo 100
    asa = 0
End If

'-----電圧計算
vv = sa * 30
If sa > 0.05 Then vv = 1.2
If sa < -0.05 Then vv = -1.2
If sa < 0 Then GoTo 10

'-----リミッタ
If v - vv >= 10 Then
v = v - vv
Else
v = 10

```

End If

GoTo 100

'-----リミッタ

10 If v - vv <= 120 Then

v = v - vv

Else

v = 120

End If

'-----データ保存 & 電圧出力

100 dvn = (v - vold) * mem

dv2n = (dvn - dvoid) * mem

dvoid = dvn

dvdv2(0) = dvn

dvdv2(1) = dv2n

dv(GrpXPos) = dvn

dv2(GrpXPos) = dv2n

vo(GrpXPos) = v

vold = v

sao(GrpXPos) = sa

Label1.Caption = v

sah0.Caption = Val(Format(sa, "0.0000"))

h2suti.Caption = Val(h2)

AcxAio1.SingleAO 0, Val(v / 60), 1

h2Data(GrpXPos) = Buffer(1)

If GrpXPos >= MAX_GRP_X Then グラフの端まで来た

For b = 0 To MAX_GRP_X

```
hDatab(b) = hData(b)
h2Datab(b) = Format(h2Data(b), "0.000000")
vd(b) = Format(vo(b), "0.000000")
sad(b) = Format(sao(b), "0.000000")
dvd(b) = Format(dv(b), "0.000000")
dv2d(b) = Format(dv2(b), "0.000000")
```

```
Next b
```

```
'-----グラフクリア
```

```
GrpXPos = -1
```

```
AcxXY1.ClearData
```

```
AcxXY2.ClearData
```

```
AcxXY3.ClearData
```

```
AcxXY4.ClearData
```

```
End If
```

```
GrpXPos = GrpXPos + 1          グラフ位置更新
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
'-----
```

```
'-----処理停止
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
AcxAio1.TimInterval = 0
```

```
fncOpen
```

```
txtTimInterval.Text = 0
```

End Sub

'-----

'-----基準値設定

Private Sub Command2_Click()

 AcxXY1.YMaximumRange = Format(h + 0.1, "0.00")

 AcxXY1.YMinimumRange = Format(h - 0.1, "0.00")

 h0 = Format(h, "0.000")

End Sub

'-----

'-----フォルダ選択

Private Sub Dir1_Change()

 File1.Path = Dir1.Path

End Sub

'-----

'-----ドライブ選択

Private Sub Drive1_Change()

 Dir1.Path = Drive1.Drive

End Sub

'-----

'-----ファイル選択

Private Sub File1_Click()

 filenamebox.Text = File1.filename

End Sub

'-----

'-----フォームロード時の処理

Private Sub Form_Load()

 'フォームの位置を中央に

 Left = (Screen.Width - Width) ¥ 2

 Top = (Screen.Height - Height) ¥ 2

 h0 = 4.25

 AcxXY1.XMaximumRange = MAX_GRP_X

 AcxXY2.XMaximumRange = MAX_GRP_X

 AcxXY3.XMaximumRange = MAX_GRP_X

 AcxXY4.XMaximumRange = MAX_GRP_X

 '設定ファイルの読み込み

 Ret = AcxAio1.LoadProperty("ACXAIO.INI")

 '自動検出

 If Ret <> 0 Then 設定ファイルがなければ検出/登録を試みる

 Ret = AcxAio1.AutoDetect("AIO00")

 If (Ret = 0) Then

 AcxAio1.DeviceName = "AIO00" デバイス名 AIO00 のボードを選択

 End If

 End If

 bsa = 0

 mokuhyochi = 60

```

teishi60.Value = True

mem = MAX_GRP_X / Val(txtTimInterval.Text)
'初期化
fncOpen
End Sub

'-----
'-----フォームアンロード時の処理
Private Sub Form_QueryUnload(Cancel As Integer, UnloadMode As Integer)
    cmdEnd_Click
End Sub

'-----
'-----初期化处理
Sub fncOpen()
    Dim StrCaption As String

    AcxAio1.TimEnabled = False
    Ret = AcxAio1.open

    If Ret = 0 Then
        fncDispProperty    プロパティの設定を表示
        StrCaption = "簡易アナログ入力:" & AcxAio1.BoardName
        frmAcqData.Caption = StrCaption
        AcxAio1.TimEnabled = True
        GrpXPos = 0
        AcxXY1.ClearData
    End If
End Sub

```

AcxXY2.ClearData

AcxXY3.ClearData

AcxXY4.ClearData

AcxAio1.TimInterval = Val(txtTimInterval.Text)

Else

MsgBox "初期化できませんでした。[プロパティ]ボタンを押してボードを登録した後"
& Chr(13) & _
"[初期化]ボタンを押してください"

End If

End Sub

'-----

'-----終了処理

Private Sub cmdEnd_Click()

'現在の状態を保存

Ret = MsgBox("現在の状態を保存しますか?", vbYesNo)

If Ret = vbYes Then

AcxAio1.SaveProperty ("ACXAIO.INI")

End If

'-----電圧注意

If v <= 0 Then

AcxAio1.Close

End

Else

```
Ret = MsgBox("電圧を 0 まで下げてください", vbOKOnly)
```

```
mokuhyochi = 0
```

```
teishi60.Value = False
```

```
teishi0.Value = True
```

```
teishi.Value = 1
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
'-----
```

```
'----- プロパティページの表示
```

```
Private Sub cmdShowProperty_Click()
```

```
Dim tmpBoardName As String
```

```
tmpBoardName = AcxAio1.BoardName
```

```
AcxAio1.ShowProperty
```

```
'プロパティページでボードが変更された？
```

```
If tmpBoardName <> AcxAio1.BoardName Then
```

```
DoEvents
```

```
MsgBox "ボードが" & tmpBoardName & "から" & AcxAio1.BoardName & "に変更され  
ました。" & Chr(13) & _
```

```
    "初期化しなおします。"
```

```
    fncOpen          初期化時の処理
```

```
Else
```

```
    fncDispProperty '設定表示を更新
```

End If

End Sub

```
'-----  
'----- プロパティの設定状態を表示  
Sub fncDispProperty()  
    Dim MaxRange As Single  
    Dim MinRange As Single  
    Dim ChkFlag As Integer  
  
    DoEvents  
    lblDisp.Caption = "ボード名：" & AcxAio1.BoardName & Chr(13) & _  
        "I/Oアドレス：" & Hex(AcxAio1.IoAddress) & " h" & Chr(13) & _  
        "割り込み：" & AcxAio1.IrqLevel & Chr(13) & _  
        "レンジ：" & _  
        AcxAio1.GetSupportedRange(0, AcxAio1.InputRange, ChkFlag)  
  
    AcxAio1.GetInputRange MinRange, MaxRange    グラフの Y 軸用にレンジ取得  
    txtTimInterval.Text = AcxAio1.TimInterval    タイマ周期更新  
  
    If AcxAio1.ChannelNumber > 2 Then    このサンプルは 32ch までです  
        MsgBox "同時に表示できるチャンネル数は 2 です。", vbExclamation  
        AcxAio1.ChannelString = "10"  
    End If  
  
    ReDim Buffer(AcxAio1.ChannelNumber)    チャンネル分の配列を定義  
    AcxXY1.ArrayNumber = AcxAio1.ChannelNumber    グラフのライン数 = チャンネル数  
    lblChannelString.Caption = AcxAio1.ChannelString
```

End Sub

```
'-----  
'-----ファイルオープン  
Private Sub open_Click()  
    Dim filename, X As String  
    Dim l, k As Integer  
  
    '-----¥有る無し判断  
    If Right(Dir1.Path, 1) = "¥" Then  
        filename = Dir1.Path & filenamebox  
    Else  
        filename = Dir1.Path & "¥" & filenamebox.Text  
    End If  
  
    '-----値初期化  
    l = 0  
    k = 0  
    h = 0  
    v = 0  
    sa = 0  
  
    '-----データ読み込み  
    Open filename For Input As #1  
    Do  
  
        Input #1, X, hDatab(k), h2Data(k), vd(k), sad(k), dvd(k), dv2d(k)  
        k = k + 1
```

```
        If k > MAX_GRP_X Then Exit Do
    Loop
```

```
Close #1
```

```
'-----グラフ出力
```

```
For l = 0 To MAX_GRP_X
    dvdv2(0) = CSng(dvd(l))
    dvdv2(1) = CSng(dv2d(l))
    h = hDatab(l)
    v = vd(l)
    sa = sad(l)
    AcxXY1.DisplayDataY l, Val(h), 1
    AcxXY2.DisplayDataY l, Val(v), 1
    AcxXY3.DisplayDataY l, Val(sa), 1
    AcxXY4.DisplayDataY l, dvdv2, 2
Next l
```

```
End Sub
```

```
'-----ファイルセーブ
```

```
Private Sub save_Click()
```

```
'-----変数定義
```

```
Dim filename As String
Dim l, k, hedch As Integer
```

```
Dim ChkFlag As Integer
```

```
'-----¥有る無し判断
```

```
If Right(Dir1.Path, 1) = "¥" Then
```

```
    filename = Dir1.Path & filenamebox
```

```
Else
```

```
    filename = Dir1.Path & "¥" & filenamebox.Text & ".csv"
```

```
End If
```

```
'-----値初期化
```

```
k = 0
```

```
l = 0
```

```
'-----データセーブ
```

```
Open filename For Output As #1
```

```
    For k = 0 To MAX_GRP_X
```

```
        Print #1, Trim(k); ","; hDatab(k); ","; h2Datab(k); ",";_
```

```
            Trim(vd(k)); ","; Trim(sad(k)); ","; Trim(dvd(k)); ","; Trim(dv2d(k))
```

```
    Next k
```

```
Print #1, "## x"; ","; "h"; ","; "v"; ","; "h0-h"; ","; "dx"; ","; "d2x"
```

```
Print #1, "## "; Format(Date, "yyyy/mm/dd"); ","; Format(Time, "hh:nn:ss")
```

```
Print #1, "## ホ`-ト`名 : "; AcxAio1.BoardName
```

```
Print #1, "## I/O アドレス : "; Hex(AcxAio1.IoAddress); " h"
```

```
Print #1, "## 割込み : "; AcxAio1.IrqLevel
```

```
Print #1, "## レジ` : ;_
```

```
AcxAio1.GetSupportedRange(0,AcxAio1.InputRange, ChkFlag)
```

```
Print #1, "## 最大エコー高さ値と電圧出力値"
```

```
Close #1
```

```
End Sub
```

'-----

'-----グラフィッククリア

Private Sub cmdClearData_Click()

GrpXPos = 0

AcxXY1.ClearData

AcxXY2.ClearData

AcxXY3.ClearData

AcxXY4.ClearData

AcxAio1.TimInterval = Val(txtTimInterval.Text)

If Val(txtTimInterval.Text) <> 0 Then

mem = MAX_GRP_X / Val(txtTimInterval.Text)

End If

End Sub

'-----

'-----16進表示

Private Sub chkHex_Click()

If chkHex.Value = 1 Then '16進表示

LastVoltRange = AcxAio1.InputRange

AcxAio1.InputRange = 0 オフセットバイナリにします

Else '10進表示

AcxAio1.InputRange = LastVoltRange '16進表示にする前のレンジに戻します

End If

cmdClearData_Click

```
fncDispProperty  
End Sub
```

```
'-----
```

```
'-----電圧変化停止(0)
```

```
Private Sub teishi0_Click()  
    mokuhyochi = 0  
    teishi60.Value = False
```

```
End Sub
```

```
'-----
```

```
'-----電圧変化停止(60)
```

```
Private Sub teishi60_Click()  
    mokuhyochi = 60  
    teishi0.Value = False
```

```
End Sub
```

付録 AB に用いた参考文献

- [1] 若山芳三郎；学生のための Visual Basic ，東京電機大学出版局 ，1998
- [2] 川口輝久 ,河野勉；簡単プログラミング Visual Basic6 基礎編 ,技術評論社 ,1999
- [3] 川口輝久 ,河野勉；簡単プログラミング Visual Basic6 応用編 ,技術評論社 ,1999
- [4]ActiveX Component ACX-PAC[W32]ユーザーズマニュアル ,株式会社コンテック ,2000

付録 C

前刷

1, 緒言

材料中を伝搬する超音波の伝搬特性は材料内部のき裂、残留応力分布、集合組織などの材料の巨視的状態はもとより結晶構造、転位組織、空孔分布などの材料固有の微視的組織構造とも深く関連する。

しかし、材料の表面粗さやそれに伴う探傷位置でのカプラント膜厚の不均一さは、被験材への超音波の入射音圧に大きく影響するため、上述因子の影響の把握に際し、大きな誤差原因となる。そこで、カプラントの音響インピーダンスに近いポリスチレン樹脂を遅延材に使用したり、ギャップ法の利用により表面粗さの影響を軽減する方法がとられてきた。しかし、本報で用いる試験片と同程度の粗さ面の場合エコー高さの変動は10%と大きく、微少な内部き裂や結晶構造の違いを捉えることはできない。

ところで被験材への入射音圧は、探触子界面からの反射エコー高さにより決まるため、粗さ面の場所場所での反射エコー高さが一定になるようカプラント膜厚を調整することにより、入射音圧を一定に保つことができるはずである。

本研究では、圧電アクチュエータによりカプラント膜厚の調整を行い、本探触子による入射音圧保証の可能性を検証した。

2, 実験装置および方法

実験装置の概略を図1に示す。また、試験片にはS45Cの磨き材を用い、その表面にサンドペーパーで $R_q=1.30\mu\text{m}$ の粗さを付与したもの(以下平滑面)と、鑄がけにより $R_q=6.01\mu\text{m}$ の粗さ面を創生したもの(以下粗面)を用意した。

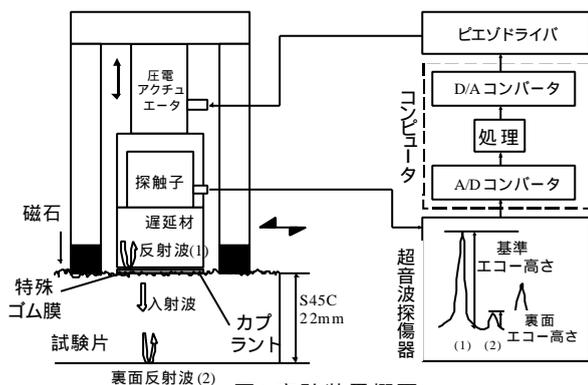


図1: 実験装置概要

アクリル製遅延材と試験片間の膜厚によってカプラント膜内の多重反射の影響が変化し、図2に示すように、基準エコー高さが変化する。実験では2.5mm/sで探触子を移動させた場合に、このエコー高さが常に設定値になるよう場所場所での膜厚を圧電アクチュエータにより調整することになる。

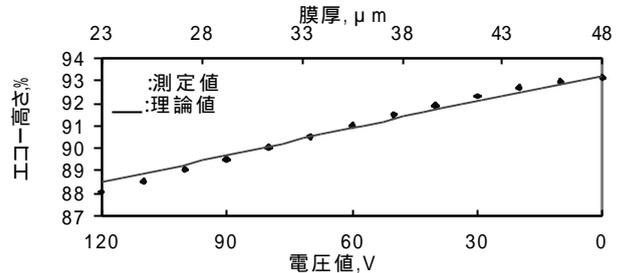
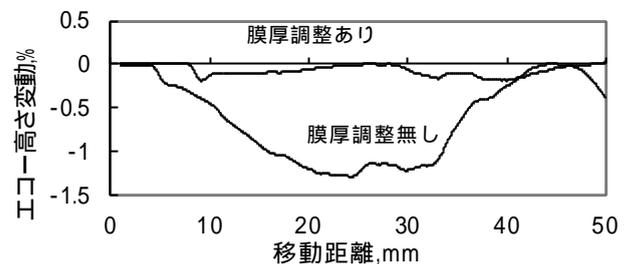
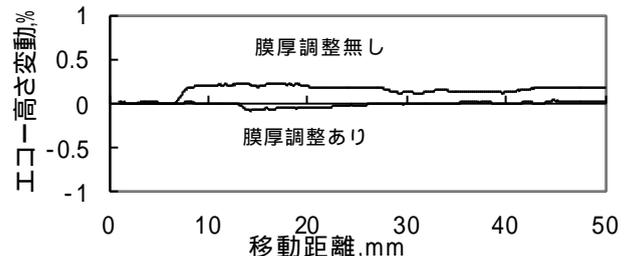


図2: 膜厚 (アクチュエータ印加電圧) と基準エコー高さ



a) 粗面 ($R_q=6.01\mu\text{m}$)



b) 平滑面 ($R_q=1.30\mu\text{m}$)

図3 実験結果

3, 実験結果および考察

図3に実験結果を示す。 $R_q=6.01\mu\text{m}$ の粗面の場合、膜厚の調整の有無により、基準エコー高さ(=90%)からの変動のし方が大きく異なっている。膜厚を調整しない場合のエコー高さ変化は大きく、最大1.4%程度になるのに対し、膜厚調整を行うと、変動値は0.2%以内に納まっている。この傾向は走査面が滑らかな $R_q=1.30\mu\text{m}$ の場合も変わらないが、膜厚調整の効果はa)の粗面ほどではない。

4, 結言

圧電アクチュエータにより探触子先端のカプラント膜厚を調整して、被測定物に入射する音圧を一定に保つ 入射音圧保証型探触子を試作し、比較的粗い測定面への適用の可能性を明らかにした。

参考文献

1) 山本 美明: 超音波基礎工学、日刊工業新聞社、p67