

# シラスマイクロバルーンを応用した 超音波吸音材の研究

竹内 康人\* 田中 進也\*\*

## ULTRASONIC ABSORBING MATERIAL USING SHIRASU MICROBALLOON

Yasuhito TAKEUCHI\* and Shinya TANAKA \*\*

In medical, industrial and other ultrasound transducer a sound absorbing material is inevitable for mechanically supporting the transduction material in its behind, or to form an anechoic structure around the same. Requirements for such material include, but not limited to, mechanical hardness or robustness, low or specified (to match to water) acoustic impedance, adequate or sufficient loss to inhibit internal echoes. Selected filled plastic or rubber materials, with specified fine powder based on heavy metal or ferrite, have been used, however, it has been a challenging in design to satisfy these three requirements simultaneously. In this study an alternative design using selected family of shirasu originated inorganic microballoon as a filler component, is put for survey to create balanced performance in light-weighted, mechanical robustness and optimized acoustical impedance and loss factor. Specific prescriptions to match to water impedance, and low impedance close to air, are obtained. This work has been supported by Kagoshima prefecture local government research fund for new resource development.

**Keywords: Shirasu Microballoon, Filler, Acoustic Impedance, Absorbing Material for Ultrasound**

### 1. はじめに

超音波探触子のバックリング材(図1)やスキャナを収容する液室の壁、構造物などへの要求を要約すると、堅牢で、かつ音響インピーダンスが所望の値の近辺にあり、(例えば空気と同じくらい低く、ないし水と整合するように、という2つの要求が用途に応じて発生する)また超音波無反射終端としての適度な音響損失がある事が必要である。従来、これ

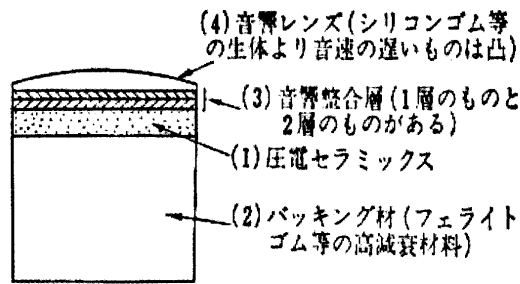
には重金属ないしフェライトなどの微粉末をフィラーとして含有したゴム、プラスチックなどが用いられていたが、前記の3つの必須な性質をあまねく兼ね備える事は困難であった。本研究では従来物質に代えてフィラーとしてシラスマイクロバルーンを選択された物を併用し、ないしは新規な組成を開拓してこの種の超音波吸音材の軽量化、堅牢化および音響損失の最適化を図り、探触子の総合性能の向上を図るための方向づけを探る。初期目標として先ず水との音響インピーダンス整合が出来、無反射終端をなし得る組成、およびなるべく音響インピーダンスが低くて物理的な開放面に近い終端をなし得る組成を求め、一定の成果を得たので報告する。

---

平成13年8月31日受理

\* 情報工学科

\*\* 博士前期課程情報工学専攻



超音波プローブの基本構造

図1

## 2. 母材とフィラーの選択

今回の実験の最初の目的が水および空気との整合点の組成の発見である事から、特定の目的に特化された特殊な物を用いる理由に乏しいので、母材としては汎用される注型用の常温硬化型の2液性の中ないし低粘度エポキシ樹脂を、またフィラーとするシラスマイクロバルーンとしては標準的な市販品を用いた。候補としては次の物を試みた。

エポキシ樹脂：

主剤ペルノックス ME-105、硬化剤ペルキュア HY-309

エポテック 301 およびキットとなっている指定硬化剤

スタイキャスト 1266A (主剤)、同 B (硬化剤)

シラスマイクロバルーン

MSB-3011

MSB-5011

比較用の工業製品シリカ・アルミナマイクロバルーン

エクステンダスフェア SL-150

若干の予備実験の結果、ペルノックスとMSB-3011の組み合わせを本実験に採用する事にした。同時にペルノックスとエクステンダスフェアの組み合わせを比較用に採用した。エポテックとスタイキャストは粘度の点で母剤が硬化する以前にフィラーが浮上する傾向が強いので採用困難であった。また使用する超音波の波長との比較においてフィラーの粒径の分布は数 $\mu\text{m}$ ないし数十 $\mu\text{m}$ の領域でできるだけ細かい必要があり、特注する事なく得られるサンプルの中で最も細かい物であるMSB-3011を採用した。さらに現在商用化されている超音波診断装置に採用されている吸音材兼バックキング材であるフェライトゴム(組成、処方とも非

公開)も測定用の参考にした。

## 3. テストピースの作成

母材のエポキシのABを室温にて所定の手続で混ぜ合せ、真空脱泡したのち、その所定量に別途秤量されたフィラーを混入、再度攪拌ないし混練し、再度真空脱泡する。混合比を体積比で管理したくてもフィラーの実体積の計量が甚だ難しいので便宜的

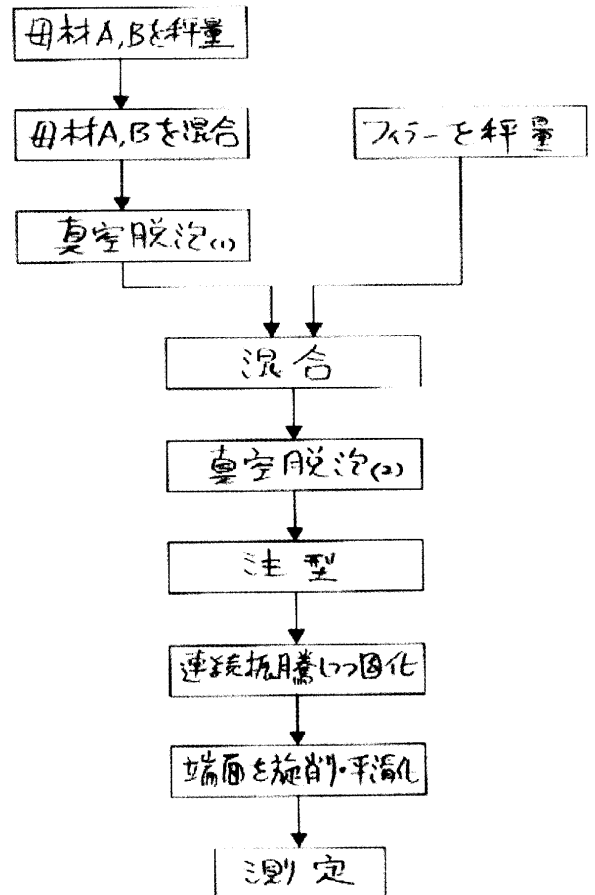


図2 作業のフローチャート

に重量比で管理した。この段階での未硬化物はフィラーの濃度に応じて灰色粘稠な液ないしパテ状を呈している。これを円筒形のプラスチック容器に静かに移し、密栓した後、試験管培養用の高速連続振騰機に搭載して前後左右上下どの方向にも停留しない様にランダムにいびりながら約1日かけて硬化させる。最終脱泡混和物をプラスチック容器に移しただけの状態室温で放置し固化せしめると、フィラーが浮き上がってしまい、所望の組成比の均一なサンプルを得る事が出来ない。また一般にエポキシ樹脂の重縮合硬化過程は発熱反応であり、また高温になるほど反応が加速されるため、この間の放熱には一定の配慮がないと爆発的な反応に至り、自己分解とガスの発生による体積の急膨張を生じ、“カルメン焼き”状の不定形で醜悪な塊が出来て終る。特にマイクロバルーンの濃度が上がると断熱性が向上し、硬化中に発生する熱を逃げ難くする。ここでは1単位が25gないし25cc、もしくは径が25mmの球ないし円筒を目安に、というメーカー提唱の放置硬化安全限界に従い分割硬化させた。硬化完了の後、超音波パルス照射してその反射波を正しく得るために、端面を旋盤ないしフライス盤で機械加工し、平滑な平面になるようにする。以上の工程を図2に示す。

#### 4. 平面の反射波による音響インピーダンスの測定

ある物質の音響インピーダンスとはその音速と密度の積で、伝搬中の音はその媒質中で伝搬方向へ向けて瞬時瞬時に引き渡して行く応力と変位の関係を示す。電気系で言うと電気信号が伝搬する同軸ケーブルや平行線等の伝送線路の特性インピーダンス、ないし電磁波が伝搬する空間の波動インピーダンスに相当する物であり、各々伝搬中の波の電圧と電流の比、ないし電界と磁界の比を意味する。同じ媒質の界面や同じケーブルの接続点ではインピーダンスが整合しているため反射はおこらず、またあるレベルの反射があればそこで媒質の波動インピーダンスに相応程度の段差がある事を意味する。また(伝送線路で言うと)開放端や短絡端では100%の反射が起る。ケーブルや媒質が同じインピーダンスの負荷抵抗もしくは吸収物質で終端されている場合にも反射が起らない。そこである物質の波動ないし音響インピーダンスを計測しようとする場合、これを波動ないし音響インピーダンスの分かっている基準媒質の媒質中に入れ、電磁波ないし音波を当てて反射波を計測する事でもって行う事ができる。

そこで、図3に示すように、水槽中にテストピースを沈め、その旋削された平面に超音波パルスを照射しその反射波を観測する。超音波診断装置や非破壊検査装置が行うように、送受に兼用の集束波面探触子を用い、その焦点の位置に被測定物質の平面を視線(音線)と正しく直交するように置く。反射波はデジタルオシロスコープによりA/D変換されつつ取り上げられ、これを最終的にPC内に取り込み、インピーダンスその他の計測を行う。比較用の

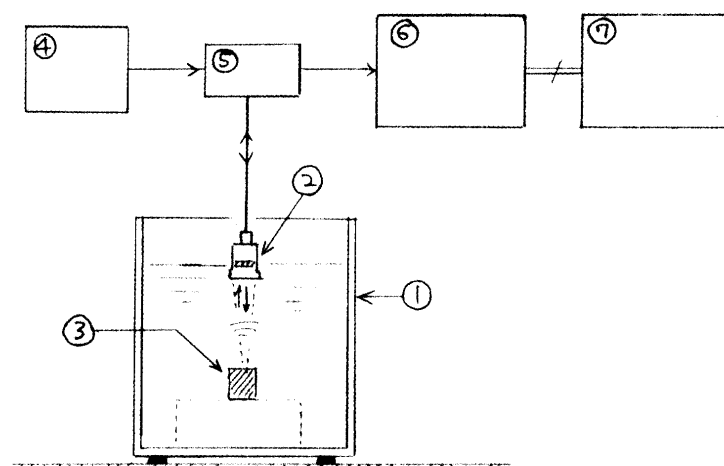


図3 測定系のブロック図

- (1) 水槽(アクリル樹脂製、20 x 20 x 50 cm+-)、(2) 集束型単一振動子探触子(General Electric model 9414HR, 2.25MHz, 19mmdia, f=90mm)、(3) テストピース、(4) パルス発生器(Hewlett-Packard model hp8116A)、(5) 送受信自動切替回路(自家製)、(6) デジタイジングオシロスコープ(LeCroy model LT224)、(7) PC(汎用品)。

基準となる短絡端と開放端は音響学的に完全な物は実現が難しいので、水中の空気室の窓に平面となるように張り渡された極く薄い膜（サランラップ）（図4）と、十分に密度が高い金属塊（機械加工用工具シャシーパンチの鉄の表面）の表面（図5）を利用した。これらの反射波は十分な近似度でそれぞれ短絡端（空気）および開放端（鉄）を代替し、図示の如く主応答の振幅が等しく極性が反対で、片方の極性を反転させて併記して見ると誠に良く合致する。そこで、これらとの比較においてテストピースの平面の反射波の振幅と極性をグラフ上に目盛ると、目盛が非直線ではあるがその音響インピーダンスを直読できる事になる。

### 5. 各種のテストピースの測定結果

図6～10の時間軸は全幅が8 $\mu$ Sec、振幅軸は任意目盛である。

図9に水との界面での反射が最も小さくなったシラスマイクロバルーン MSB-3011 をフィラーとする組成のテストピースの反射波を示す。この組成の近傍で完全無反射となる組成の処方があり得ると期待されるが、今回採用した実験手法ではローカルな組成の分布を十分に抑え切れず、これ以下のレベルの反射は確認に至っていない。

フィラーの混入量を変数として反射波の極性と振幅を目盛ると、シラスマイクロバルーン MSB-3011 の場合図11aの如く、比較用純工業製品エクステンドスフェア SL-150 の場合図11bの如く

なる。これらより、いづれも水との無反射条件に合致する組成は母材70gに対し混入量4.5gのあたりにあり、また混入量8g以上では空気に十分近い値が得られている事が判る。これらを完成物内のフィラーの体積組成比に換算すると、大まかな推定にしかならないが、前者で大略50-60%、後者で大略35-40%となる。

一方、試みに現在製品に採用されている吸音材兼バックング材であるフェライトゴムを本システムで計ると、反射波としては図10の如くなり、これは図11中の点cに該当し、水とは非常に良くマッチしている事が判明した。

### 6. 結論と考察

これより前者の組成では水に対する無反射条件を出せるので実験水槽や液室の、また送受波システムを収容する探触子やソナドームの壁の材料として邪魔なエコーを出さないようにする手段として利用できる可能性が高い。また後者の組成では振動子にとってなるべく軽い、負荷にならない支持物質としてそのような設計思想の探触子に利用できる可能性が高い。しかし両者とも実用化のためには更に内部損失や内部不要反射の評価および再設計が必要であり、また特にフィラーとなるシラスマイクロバルーンの諸元仕様の明確化と厳密な管理が作られる音響部品の工業レベルでの再現性の維持のために必須である。ともに今後の課題である。さらに本研究の研究内容としては触れないが、図11の

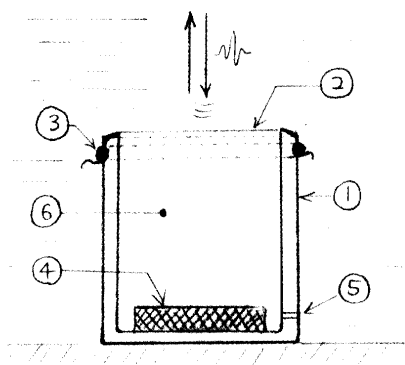


図4 水中の比較基準用空気室  
(インピーダンスゼロの代用)

- (1) プラスチック容器 (2) サランラップ
- (3) 張力繫留手段 (リング) (4) 重石
- (5) 差圧解消用小穴 (6) 空気

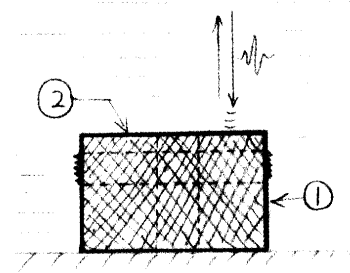


図5 水中の比較基準用重金属（鉄）  
(インピーダンス無限大の代用)

- (1) 鉄製工具 (シャシーパンチ)
- (2) 平面

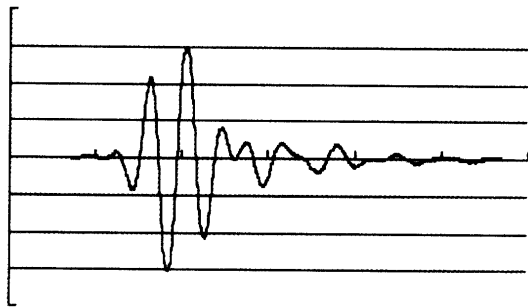


図6 空気と水の界面の反射波  
(終端インピーダンスゼロの近似)

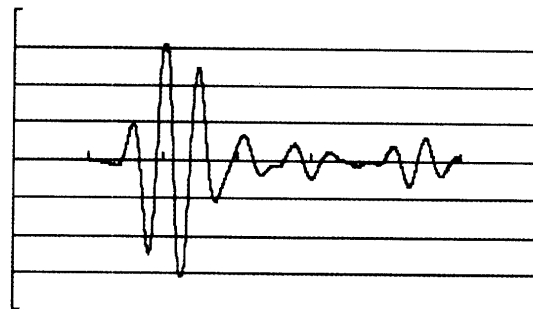


図7 鉄と水の界面の反射波  
(終端インピーダンス無限大の近似)

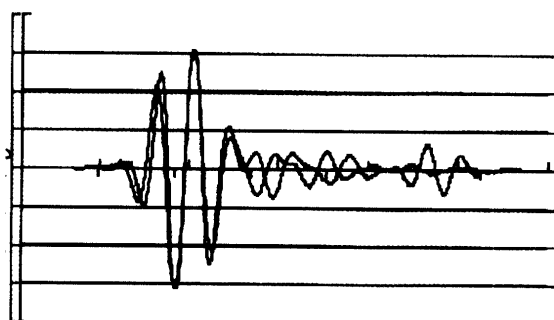


図8 鉄の反射波を反転させて空気の反射波と重ね合わせてみると、主応答同志はぴたりと合致する。これより両者は等大で極性が反対である事がわかる。

a, b を比較してシラスマイクロバルーンの使用が何処に意義があるのかという疑問に対しては次の3つの答を示唆しておく。

(1) 素材の価格の点で、純工業製品よりもシラスマイクロバルーンの方が百分の1の桁の安さである。

(2) 粒径分布の点で、純工業製品よりもシラスマイクロバルーンの方が相当広いので、実現可能な最大の体積占積率とか、適用可能な超音波周波数の範

囲とかの点で有利である可能性が大きい。

(3) 純工業製品と同程度の諸元性能が実現できるまでであっても、本県(鹿児島県)の産業としては本県の特産品を原料として採用する事は意義がある。

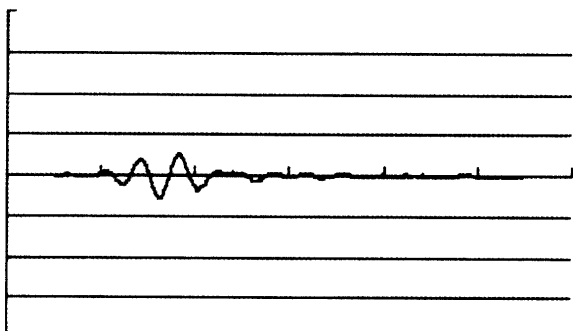


図9 本研究で得られた最も反射が少ない組成のテストピースの、水との界面の反射波(例)

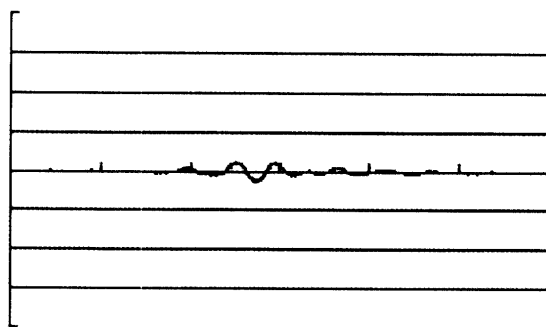


図10 水とのマッチングを意図して作られた商用設計のフェライトゴムの、水との界面の反射波

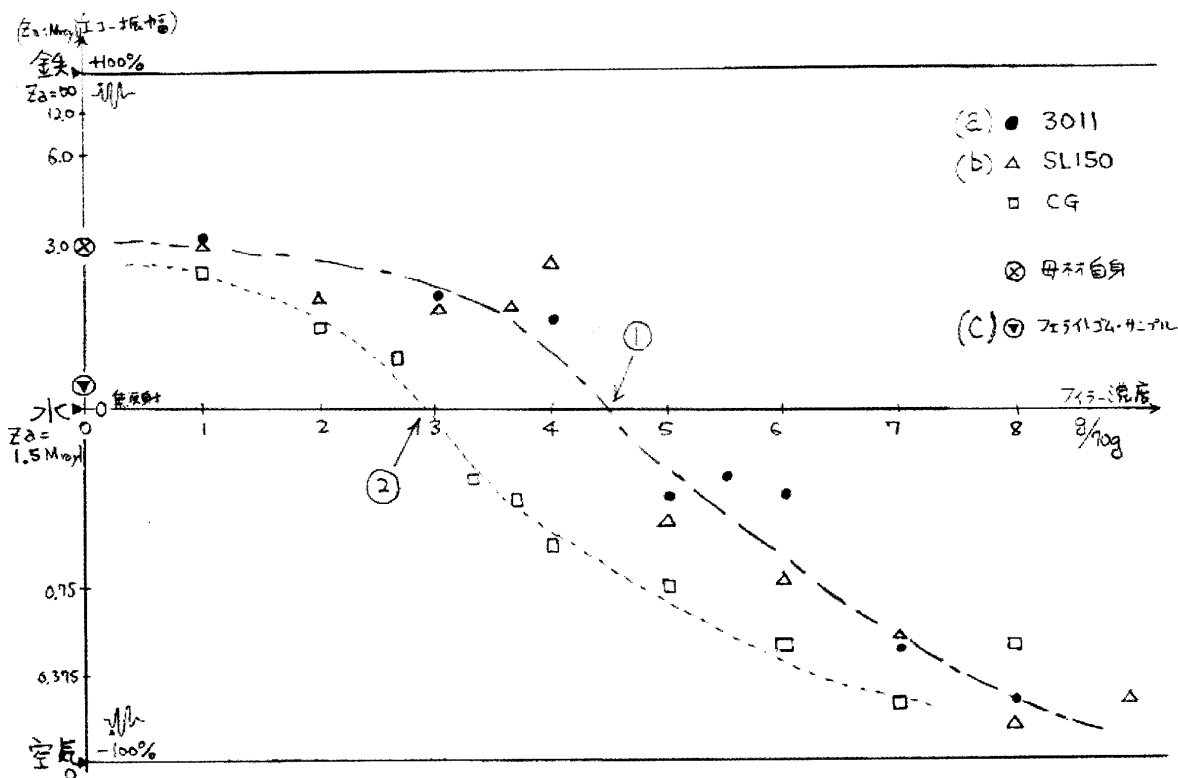


図 11 フィラー濃度とエコー振幅ないし入射点の音響インピーダンスの関係

これより (1) MSB-3011 (シラスマイクロバルーン) および SL-150 (工業製品シリカアルミナマイクロバルーン) の場合、大略 4.5g/70g (重量比 6.4%) の近辺に水との無反射整合が得られる組成がある事が判る。また (2) CG (同じく) の場合は 3g/70g (4.3%) 辺りにある (説明省略)。またいづれも 7-8g/70g (10%) 以上の濃度では空気との界面に近似できる素材が得られる事が判る。

### 謝辞

シラスマイクロバルーンの各種サンプルを提供して頂いたアクシーズケミカルの関係者の方々に、また工業製品のシリカアルミナマイクロバルーンの各種サンプルを提供していただいた PQ コーポレーションの方々に、それぞれ謝辞を呈する次第である。

### 追記

本研究は平成 12 年度鹿児島県資源開発協議会委託研究として行われ、具体的実務は同年度鹿児島大学工学部情報工学科卒業研究、田中進也担当として行われた。

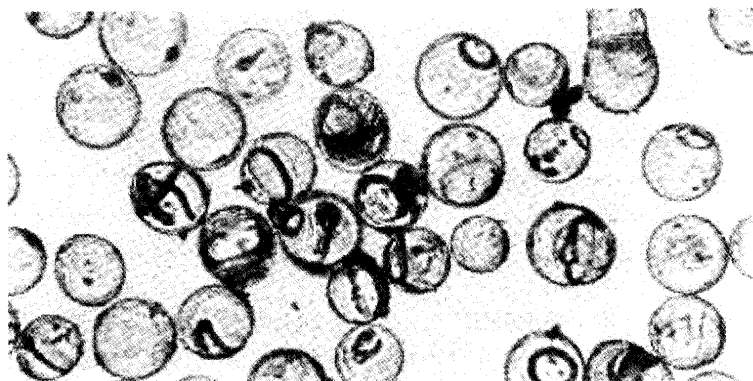


図 12 シラスマイクロバルーンの例

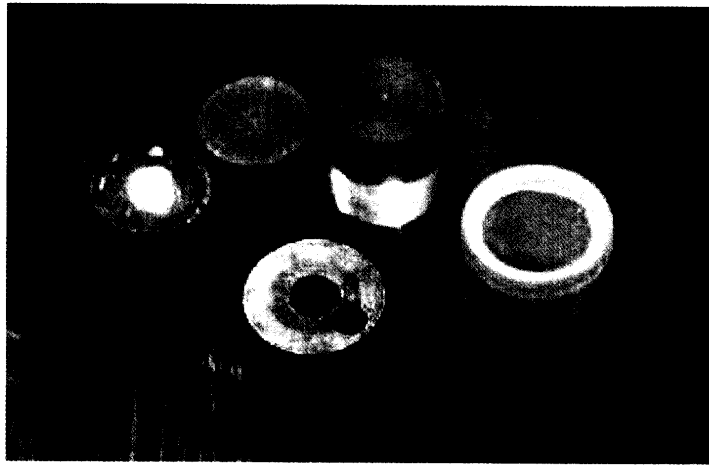


図 13 各種テストピース

左上から時計方向周りに、旋削し表面平滑化されていない硬化しつばなしの物、旋削し表面平滑化された物、ファイラーなしの只のエポキシ、サランラップ膜をフィルム容器の入り口に緊張させつつ張り渡した、インピーダンスゼロの近似のための空気との界面、工具（シャシーパンチ）の鉄の平滑な表面の、インピーダンス $\infty$ の近似のための高密度物体との界面。

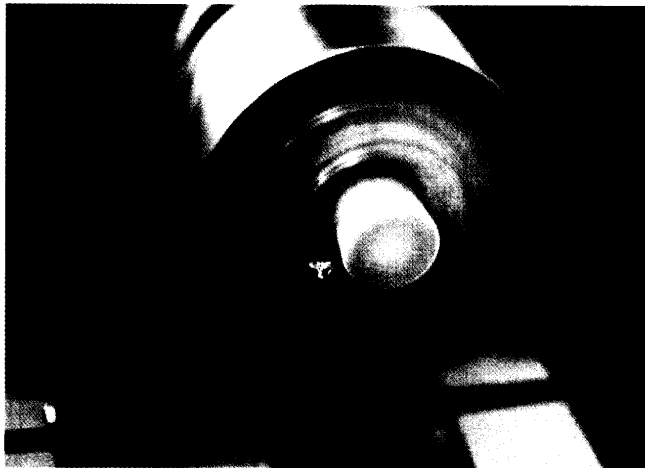


図 14 平滑な表面を得るために旋削中のテストピース

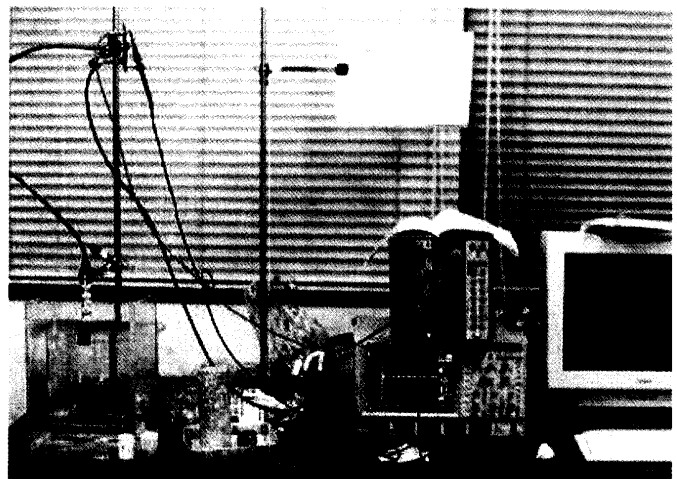


図 15 実験系の全景