The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	樹脂製エアー・タービン・ハンドピースの開発に関する基礎的研究
Author(s)	草野, 雅章
Citation	大阪大学, 1989, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/36091
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

樹脂製エアー・タービン・ハンドピースの開発に関する基礎的研究

草野雅章

昭和64年1月31日受付

緒　言

歯科用エアー・タービン・ハンドピース（以下、ハンドピースと略称する）は、歯科治療にとって最も重要な治療用機器の一つである。しかし、現在臨床で使用されている金属製ハンドピースは、騒音レベルが大きく、かつ、固有の金属音を発生するので、患者に強い恐怖感と不安感を与え、血圧や脈拍にも影響をおよぼし、その結果、治療効率にも影響しているということが報告されている[1～7]。

歯科用ハンドピースの騒音の発生機構に関しては、Morrantら[8]、Ballら[9]、Holden[10]の報告がみられる。

Morrantら[8]は、ダイナミック・アンバランスが騒音の発生原因であると述べている。Ballら[9]は、回転数の数倍に等しい周波数成分が

発生する可能性があると述べている。Holden[10]は、空気流がタービン・ブレードによって遮断されることによってローター回転数×ブレードの枚数に等しい周波数においてピークが発生する可能性があると述べている。この点から、騒音の発生機構をさらに追跡して騒音のできるだけ発生しないハンドピースの開発が望まれている。

金属製ハンドピースは、比較的重く、価格も高いため、加工方法、材質面等を検討し、操作性の向上やコスト・ダウンをはかることも意義深いと思われる。

本研究では、このような金属製ハンドピースの欠点を、材料を可能な限り樹脂化することにより改善することを試みた。その理由は、樹脂は軽量で吸振特性の良い材料もあり成形材料としてみると着色自由で審美性の優れたものが得られるからである。また、樹脂は主として射出成形によって精度良く製作でき、かつ、成形後の機械加工をほとんど必要とし

ないのでコスト・ダウンをはかることができるという可能性をもっているからである。このような点に着目して、樹脂製ハンドピースの開発を行った。

試作した樹脂製ハンドピースは、シングル・ノズル・タイプと、マルチ・ノズル・タイプの2種類で、それぞれハウジングを樹脂製にし、タービン・ブレードも樹脂製のものを試作した。金属製ハンドピースと比較しながら樹脂製ハンドピースの回転数、騒音レベル、騒音の周波数分析、初動圧力、重量について検討し、樹脂製ハンドピースの開発の可能性について検討した。

実験方法

1.樹脂製ハンドピースの試作および実験項目

樹脂製ハンドピースは、シングル・ノズル・タイプ（以下、Sタイプと略称する）と、マルチ・ノズル・タイプ（以下、Mタイプと略称する）の2種類のハンドピースを作製した。樹脂製ハンドピースについては、ハウジングを樹脂製とし、タービン・ブレード（以下、ブレードと略称する）も樹脂製のものを試作した。

図1に樹脂製ハンドピースのヘッド部の基本構造を示す。Sタイプのハンドピースの場合（a）は、ヘッド部に設けられた1個のドライブ・エアー・ノズル（以下、ノズルと略称する）（①）からの噴流がブレード（②）にあたり、タービン・ローター（以下、ローターと略称する）を回転させる。Mタイプのハンドピースの場合（b）は、ヘッド・キャップに設

けられた7個のノズル（①）からの噴流がブレード（②）にあたり、ローターを回転させる。

図2にヘッド・キャップ・サイドの方向より見たSタイプのハンドピースのヘッド部の基本構造を示す。Sタイプは金属製のトラディション（従来型、Midwest社製）（以下、ハンドピースTと略称する）、Mタイプはクワイエット・エアー（静音型、Midwest社製）（以下、ハンドピースQと略称する）と構造がほぼ同じであるためこれらをそれぞれ比較対照ハンドピースとして使用した。

表1に実験を行ったハンドピースの種類および実験項目を示す。

1-1.Sタイプのハンドピースについて

樹脂製ハンドピースについては、Sタイプのハンドピースとして、タイプ0、タイプ1、タイプ2を製作した。図3に試作樹脂製ハンドピースと市販金属製ハンドピースの外観を示す。タイプ0のハンドピースを用いて適切な噴射角、

ノズル径、ブレード枚数を検討するための予備実験を行い、その結果を基にしてタイプ1とタイプ2のハンドピースを試作した。試作のための切削性を考慮してポリアセタール樹脂とABS樹脂の2種類の樹脂を用いて製作した。タイプ0はポリアセタール樹脂を用いて製作した。樹脂間の比較を行うため、タイプ1はポリアセタール樹脂、タイプ2はABS樹脂にて製作した。

表2にタイプ0のハンドピースのヘッド部のノズルとローターの形状要素を示す。噴射角βは、5°、10°、16°の3種類、ノズルの径は0.5mm、1.0mm、1.5mmの3種類変えて適切な条件を検討した。ブレードの枚数は1枚、2枚、4枚、8枚、16枚の5種類とした。1枚のものは実用に供することを前提としたものではなく、比較検討のために作製した。図4にタイプ0のハンドピースのヘッド部およびローターの外観を示す。タイプ0のハンドピースに関する実験結果を利用して、タイプ1およびタイプ2のハンドピースを製作した。

タイプ1のハンドピース用として、形状がペルトン水車型で、ブレードの枚数を8枚として、直径が8.50mm、8.70mm、8.90mm、8.95mmのブレードを作製し、空気圧と回転数との関係および回転数と騒音レベルとの関係に与える径の影響について検討した。さらに、タイプ1のハンドピースに、市販の金属製ハンドピースのローターを用いて検討した。図5に樹脂製ブレードおよび金属製のハンドピースのブレードを示す。ついでタイプ1のハンドピースを用いて、騒音の周波数特性、初動圧力、重量について検討した。

タイプ2のハンドピースを用いて、空気圧と回転数との関係および回転数と騒音レベルとの関係、騒音の周波数特性、初動圧力、重量について検討した。

1-2.Mタイプのハンドピースについて

Mタイプのハンドピースとしてタイプ3を製作した。図3に試作樹脂製ハンドピースと比較

対照としての市販金属製ハンドピースの外観を示す。タイプ3のハンドピースは、ABS樹脂で製作した。タイプ3のハンドピース用として、形状がA型、B型、C型の3種類のブレードを製作して、空気圧と回転数との関係および回転数と騒音レベルとの関係に与える形状の影響について検討した。図5に樹脂製および金属製ブレードの外観を示す。図6にA型、B型、C型のブレードの形状を示す。

形状がA型のブレードは、一枚のブレードの断面の曲率半径は噴流を受ける側が1.20mm、噴流の後側が0.75mmである。ブレードの枚数は24枚である。B型のブレードは、一枚のブレードの断面の曲率半径は噴流を受ける側が4.00mm、噴流の後側が4.60mmである。ブレードの枚数は12枚である。平面状に近い。C型のブレードは、一枚のブレードの断面の曲率半径は噴流を受ける側が2.00mm、噴流の後側が1.20mmである。ブレードの枚数は12枚である。

さらにタイプ3のハンドピースを使用して、

騒音の周波数特性、初動圧力、重量について検討した。

2.各種ハンドピースの回転数と騒音特性測定条件

表3に各種ハンドピースの回転数と騒音特性測定条件を示す。切削工具はダイヤモンド・ポイント（而至歯科工業製）を使用した。水とチップ・エアーはオフ状態、空気圧は0から40psi（2.8kgf/cm^2）まで変動させた。負荷条件は、無負荷と負荷状態で行った。負荷は、はかりに固定した抜去歯にダイヤモンド・ポイントを押し付けて切削工具のラジアル方向に、50gの垂直荷重をかけた。図7にハンドピースの負荷状態を示す模式図を示す。

3.実験装置

図8に、無音響室における、ハンドピースの回転数および騒音特性の測定システムの模式図を示す。マイクロホンとハンドピースのヘッド部の中心との距離は、歯科治療時における患者の耳の位置とハンドピースのヘッド部の中心との距離を想定して、20cmとした。

狭帯域の周波数分析装置（B&K 2032）を用いて騒音の周波数分析[11,12]を行い、騒音の周波数特性を検討した。騒音レベルはNA-12型騒音計（リオン社製）を用いて測定した。

ローター回転数を調べるために、非接触ディジタル表示の磁気誘導ピック・アップ方式の回転計ラム・マスター（モデル 1000、小倉宝石製）を使用した。

初動圧力は空気圧を指示する回転速度調節式フット・コントローラー（フロアーユニット402,Midwest社製）によって測定した。

重量は、電子上皿天秤（Libror ED 200MD,島津製作所製）を用いて測定した。

結果

本研究では、試作した樹脂製ハンドピースの空気圧と回転数との関係、騒音レベル、騒音の周波数分析、初動圧力、重量を金属製ハンドピースと比較して検討した。

1.回転数

1-1.Sタイプのハンドピースについて

1-1-a.予備実験

タイプ0のハンドピースを使用して適切な噴射角、ノズルの径、ブレードの枚数を求めるため空気圧と回転数との関係について検討した。

1-1-a-1.噴射角 β

図9に、噴射角 β に関する実験結果を示す。横軸は空気圧［psi］で、縦軸は回転数［$\times 10^4$rpm］である。噴射角を 5°、10°、16° と変化させた。空気圧15psiでは、それぞ

れ、20万rpm、20万rpm、19万rpm、20psiでは、それぞれ、25万rpm、24万rpm、24万rpm、25psiでは、いずれも25万rpm、30psiでは、それぞれ30万rpm、29万rpm、30万rpmであった。従って、噴射角が5°、10°、16°のいずれの場合も、同程度の回転数が得られた。よって、以下の実験では、β=10°を採用した。

1-1-a-2.ノズルの径

図10に、ノズルの径に関する実験結果を示す。噴射角βについての実験結果に基づいてβ=10°を用いて検討した。直径1.0mmと1.5mmの場合の回転数は、空気圧15psiでは、それぞれ、20万rpm、22万rpm、20psiでは、いずれも、24万rpm、25psiでは、それぞれ、28万rpm、26万rpm、30psiでは、いずれも、29万rpmであった。一方、直径0.5mmの場合は、比較的低くなった。直径1.0mmと1.5mmとは同程度であったので、以下の実験では、1.0mmを採用した。

1-1-a-3.ブレードの枚数

図11に、ブレードの枚数に関する実験結果を示す。噴射角βおよびノズルの径に関する実験結果に基づいて、β=10°、直径1.0mmのヘッドを用いてブレードの枚数を1枚から16枚まで変えて検討した。ブレードの枚数が1枚と2枚の場合の実験結果は、回転数が極めて低いため図11にはあらわれていない。ブレードの枚数を変えた場合には、回転数については、ブレード枚数8枚の場合が最も高い回転数を示した。

以上の結果を利用して、タイプ1およびタイプ2のハンドピースのヘッド部は、β=10°、ノズルの直径1.0mmの条件のヘッド部を用いブレードの枚数が8枚のローターを採用することとした。

1-1-b.タイプ1のハンドピースの空気圧と回転数との関係について

タイプ1のハンドピースを使用して、空気圧と回転数との関係を検討した。

図12に、無負荷状態にて樹脂製のタイプ1のハンドピースに4種類の径の異なった樹脂製のブレードを使用したローターを組み込んだ場合と市販の金属製のハンドピースT（トラディション Tradition）のローターを組み込んだ場合、および、金属製ハンドピースTの場合の空気圧と回転数との関係を示す。金属製のハンドピースTと比較して、タイプ1の場合は、回転数は、比較的高い傾向が認められた。

図13に負荷状態にて、タイプ1のハンドピースに、市販の金属製ハンドピースのローターを組み込んだ場合、および、金属製ハンドピースTの場合の空気圧と回転数との関係を示す。金属製のハンドピースTと比較して、タイプ1の回転数は、比較的高い傾向が認められた。

1-2.Mタイプのハンドピースについて

次に、マルチ・ノズル・タイプのハンドピ

ースの回転数に関する実験結果を述べる。

タイプ3のハンドピースを使用して、無負荷状態における空気圧と回転数との関係を検討した。図14に、その関係を示す。タイプ3のハンドピースに、樹脂製の形状の異なるA型、B型、C型の3種類のブレードを使用したロータを組み込んだ場合と、市販の金属製のハンドピースQ（クワイエット・エアー Quiet-air）の場合を比較した。C型のブレードを組み込んだ場合と、金属製のハンドピースQの場合を比較すると、空気圧15psiでは、それぞれ、22万rpm、20万rpm、20psiでは、それぞれ、25万rpm、23万rpm、25psiでは、それぞれ、28万rpm、27万rpm、30psiでは、それぞれ、30万rpm、29万rpmであった。C型のブレードを組み込んだ場合は、金属製のハンドピースQと同程度の回転数が得られた。A型のブレードの場合は、それらより低く、B型の場合は、さらに、低い傾向が認められた。

2.音響工学的特性

2-1.騒音レベル

2-1-1.Sタイプのハンドピースについて

タイプ1のハンドピースを使用して、回転数と騒音レベルとの関係を検討した。

図15に、無負荷状態にて樹脂製のタイプ1のハンドピースに、4種類の、径の異なった樹脂製のブレードを使用したローターと金属製のローターを組み込んだ場合、および、市販の金属製ハンドピースTの場合の回転数と騒音レベルとの関係を示す。横軸は回転数［×10^4 rpm］、縦軸は騒音レベル［dB］である。金属製のハンドピースTの場合（◎）と比較して、ハウジングのみ樹脂にした場合（⊕）において、騒音レベルの低下がみられた。しかし、ブレードも樹脂にした場合は、騒音レベルが高い傾向が認められた。

図16に、負荷状態にて樹脂製のタイプ1のハンドピースに金属製のタービン・ローターを組み込んだ場合（⊕）、および、金属製のハ

ンドピースTの場合（◎）の回転数と騒音レベルとの関係を示す。金属製ハンドピースTの場合は、回転数が20万rpm未満の場合には騒音レベルが比較的高かった。金属製のハンドピースTと比較して、樹脂製のタイプ1の場合は、騒音レベルの低減傾向が認められた。

2-1-2.Mタイプのハンドピースについて

図17に、無負荷状態における樹脂製のMタイプのタイプ3のハンドピースに関する回転数と騒音レベルとの関係を示す。

タイプ3のハンドピースに、A型とB型の形状の異なるブレードを組み込んだ場合は、回転数が比較的低く、C型のブレードを組み込んだ場合およびハンドピースQの場合との直接的な比較はできなかった。C型のブレードを組み込んだ場合と、ハンドピースQの場合とを比較すると、前者の場合は、同一回転数では、騒音レベルが低い傾向が認められた。

2-2.騒音の周波数分析

2-2-1.Sタイプのハンドピースについて

図18にSタイプのハンドピースを使用した場合の騒音の周波数特性を示す。横軸は周波数[Hz]、縦軸はサウンド・インテンシティである。無負荷状態で、ローター回転数は27万rpm[4,500rps]である。樹脂製のタイプ1およびタイプ2のハンドピースに金属製ハンドピースTのローターを組み込んだ場合をa、bに、金属製ハンドピースTの場合をcに示した。いずれも、4,500[Hz]、9,000[Hz]、18,000[Hz]にピークが認められた。ハウジングが樹脂製の場合、特にタイプ2の場合は、金属製ハンドピースの場合と比較してピーク値が低く、さらに、ほぼ全域にわたるサウンド・インテンシティの低減傾向が認められた。

2-2-2.Mタイプのハンドピースについて

図19に、Mタイプのハンドピースを使用した場合の騒音の周波数特性を示す。無負荷状態

で、ローター回転数は27万rpm［4,500rps］である。樹脂製のタイプ3のハンドピースに形状がC型の樹脂製ブレードを組み込んだ場合をaに、金属製のハンドピースQの場合をbに示した。いずれも、4,500［Hz］、9,000［Hz］、18,000［Hz］にピークが認められた。

3.諸特性

表4に実験に用いたハンドピースの初動圧力と重量の測定結果を示す。

初動圧力はいずれも1psiであった。

重量は、金属製のハンドピースが52gから70gであるのに対し、樹脂製のハンドピース・タイプ1は24g、タイプ2およびタイプ3は14gであった。

考察

最初に、ハンドピースの製作に用いた樹脂の諸特性について検討する。

ポリアセタール樹脂[13,14]は、分子主鎖がメチレン基（$-CH_2-$）と酸素の繰り返しによって構成された熱可塑性樹脂である。ポリアセタール樹脂は、力学的性質が優れているので、代表的なエンジニアリングプラスチックスとして、金属代替材料としての用途が開拓されてきた。引張り強さ、曲げ強さ、圧縮強さは、ポリアミド樹脂、ポリカーボネート樹脂とともに熱可塑性樹脂中最高水準にある。耐疲労性は熱可塑性樹脂の中では最も優秀であり、耐摩耗性、耐クリープ性も優れている。比重はコポリマーが1.41で、ホモポリマーが1.42、ガラス繊維充填（20％）が1.56である。ポリアセタール樹脂部品は粘弾性材料であるため、吸振性があり、動作時に音が少ないという特徴がある。

熱的性質をみると、熱変形温度は124℃（18.5kgf/cm^{2}負荷）である。化学的性質としては、耐溶剤性が優れている。ポリアセタール樹脂は常温では、あらゆる有機溶剤に溶解しないといわれる。ガラス繊維強化品種は弾性率が2～3倍になり、熱変形温度が30～40℃上がり、成形収縮率も1/2程度に低下する。歯科用ハンドピースは、高圧蒸気滅菌法で滅菌・消毒を行うので耐熱性が要求される。高圧蒸気滅菌法は、高圧蒸気滅菌装置（オートクレーブ　Autoclave）を用いた消毒法であり、通常、120～121℃（蒸気圧2kgf/cm^2）で行う[15]。従って耐熱性の点では問題があるので、実用化の段階では、今後耐熱性の良い樹脂を使用する必要がある。

一方、ABS樹脂[16]は、アクリロニトリル、ブタジエンおよびスチレンの3成分から成る一群の耐衝撃性熱可塑性樹脂の総称である。ABS樹脂は、AS樹脂に、BR（ブタジエンゴム）、SBR（スチレンブタジエンゴム）、NBR（ニト

リルゴム）などのゴム状ポリマーが微分散した構造をもつ。ABS樹脂は樹脂／ゴムの二相構造をとる。ABS樹脂の特長は耐衝撃性である。その他、耐化学薬品性、耐油性、加工適応性、寸法安定性、耐クリープ性、耐ストレスクラッキング性、審美性に優れている。ABS樹脂の比重は耐衝撃性ABS樹脂が1.01～1.04、ガラス繊維充填（20％）が1.21である。ABS樹脂は、その製法、使用する樹脂の組成および分子量、ゴムの種類・組成、粒子径、架橋度、樹脂とゴムとの割合などを変えることによって、あるいは第四成分を追加することによって、性質を大きく変えることが可能である。

試作の段階では、切削性を考慮してポリアセタール樹脂とABS樹脂を用いたが、今後、実用化の段階では、成形材料としてポリエーテルスルホン、ポリフェニレンスルフィド、ポリイミド、フッ素樹脂等の耐熱性樹脂[17,18]の採用を考えている。

樹脂は、成形材料としてみると着色自由で

かつ多彩なデザインが可能で審美性の優れたものが得られ[19,20]、また、主として射出成形によって精度良く製作でき、かつ、機械加工をほとんど必要としないのでコスト・ダウンをはかることができる[19,21～23]。

1.回転数

1-1.Sタイプのハンドピースについて

1-1-a.予備実験

タイプ0のハンドピースを用いて、噴射角、ノズルの径、ブレードの枚数の回転数に与える影響を検討した。噴射角が 5°、10°、16° のいずれの場合も噴流がブレードに直角にあたる。ノズルの位置が固定されているので、10° を基準として、5° はブレードのより内側に、16° はブレードのより外側に噴流の中心があたる。本研究では、噴射角が 5°、10°、16° の、いずれの場合も、同程度の回転数が得られた（図9）。この結果は、噴流がブレードに直角にあたるという条件下では、

噴流を受ける効率が同程度であることを示す。

ノズルの径が1.0mmと1.5mmの場合とは同程度であったが、直径0.5mmの場合は、顕著な低減傾向が認められた（図10）。0.5mmの場合は、ノズルの断面積が小さくブレードが受ける流量が少ないために噴流を受ける効率が低下し、1.5mmの場合は断面積は大きいが、噴流が広がったために、噴流を受ける効率が低下したものと推察される。

ブレードの枚数は8枚の場合が最も高い結果が得られた（図11）。また、1枚、2枚、4枚の場合はブレードの枚数が少ないので、隣接するブレード間の距離が比較的大きいこと、逆に16枚の場合は、ブレードの枚数が多いので、隣接するブレード間の距離が比較的小さいことによって噴流を受ける効率が低下したものと考えられる。

1-1-b.タイプ1のハンドピースの空気圧と回転数との関係について

無負荷状態および負荷状態にてハウジングのみ樹脂製のタイプ1のハンドピースに金属製ハンドピースTのローターを組み込むと、回転数の上昇が認められた（図12、13）。タイプ1とハンドピースTのヘッド部は材質と基本寸法が異なるが、回転数に影響を与える要因は基本寸法である。タイプ1は、ヘッド部の寸法についてはタイプ0のハンドピースの実験結果に基づいて、可能な限り効率の高い噴射角とノズルの径を採用したので、その結果回転数が上昇したのであると考えられる。

負荷状態では、無負荷状態と比較し、回転数は66%から87%に低下した（図13）。空気圧の上昇とともに回転数が上昇するのが認められた。

ここで、負荷状態の回転数に関連して、エアー・タービンの回転力を調べるため、相当仕事率[24,25]について検討する。

回転数と押し付け力（垂直荷重）との積をエアー・タービンの相当仕事率とする。図13

のタイプ1のハンドピースに関する実験結果を基にして、図20に空気圧と相当仕事率との関係を示す。横軸は空気圧で縦軸は回転数×押し付け力である。タイプ1,金属製ハンドピースTのいずれの場合も空気圧の上昇とともに、相当仕事率が上昇するのが認められた。タイプ1は、金属製ハンドピースTよりも相当仕事率が高い傾向が認められた。これは、相当仕事率は回転数と押し付け力（垂直荷重）との積であり、押し付け力が一定とすると、相当仕事率は回転数に比例するからである。

1-2.Mタイプのハンドピースについて

タイプ3のハンドピースに形状がC型の樹脂製ブレードを組み込んだ場合は、ハンドピースQと同程度の回転数が得られた（図14）。樹脂製ブレードはダイナミック・バランス（ローターを回転させたとき、すなわち、動的な状態でのつりあい[26]）をとっていないが、ブレードの形状が噴流を受ける効率を上昇させ

た結果であると考えられる。形状がA型、B型の場合は、噴流を受ける効率が低いため回転数が低いと思われる。

2.音響工学的特性

2-1.騒音レベル

2-1-1.Sタイプのハンドピースについて

本研究では、樹脂製のタイプ1のハンドピスと金属製のハンドピースTと比較すると、ハウジングのみ樹脂にした場合においても、騒音レベルの低下が認められた（図15）。これは、本実験に使用した樹脂製のハウジングは予備実験の結果に基づいて可能な限り効率の高い噴射角、ノズルの径を採用したもので、その結果、騒音レベルが低下したものと考えられる[27,28]。

本研究では、ハウジングのみ樹脂にした場合でも騒音レベルが低下したがブレードも樹脂にした場合に、騒音レベルの上昇傾向が認められた（○,●,①,⊖）（図15）。この原因

としてはダイナミック・アンバランス（回転させたとき、すなわち動的な状態で発生する不つりあい[26]）が考えられる。

回転機械一般についてのダイナミック・バランスの影響については、いくつかの論文がある[29～35]。歯科用ハンドピースの、ダイナミック・バランスに関して、Morrantら[8]は、歯科用ハンドピースの、騒音と空気圧との関係についての測定を行い、ダイナミック・バランスがとられると音は静かになると示唆している。

ダイナミック・アンバランスは遠心力に基づくもので、質量、回転半径は小さくとも、高速回転の場合には、大きな遠心力が発生し、ダイナミック・アンバランスが大きくなると、ハウジングの振動が発生したり、ベアリングの異常音が発生し、騒音発生の原因となる。

本研究では、金属製ハンドピースTを使用して、ダイナミック・バランスのとられているローターを組み込んだ場合（◎）と、1枚のブ

レードの後側面より、一部の金属を削除することによってダイナミック・バランスを失したローターを組み込んだ場合（⊗）を比較すると、後者の場合は、騒音レベルが高い結果が認められた（図15）。この実験結果は、ダイナミック・アンバランスが騒音発生原因の一つであることを示す。また、騒音レベルが高い傾向とともに回転数が低い傾向が認められた。この傾向は図12においても認められた。図12において、タイプ1のハンドピースに樹脂製のブレードを使用したローターを組み込んだ場合は回転数の上昇傾向が認められた（○，●，①，⊖）。ダイナミック・バランスをとっていないが回転数が高いのは、ブレードを樹脂化することによってローターが軽量化されたことによると思われる。

ダイナミック・バランスを失した金属製ローターを使用したところ回転数が低下した（⊗）が、これは重量が大きいこととダイナミック・アンバランスが大きいことによると考えら

れる。

負荷状態にてタイプ1の場合は、金属製ハンドピースTと比較して、騒音レベルの低減傾向が認められた（図16）。これは、本実験に使用した樹脂製のハウジングは可能なかぎり効率の高い噴射角、ノズル径を採用した結果、噴流を受ける効率が向上したことによると考えられる。金属製ハンドピースTの場合は、回転数が20万rpm未満の場合には、騒音レベルが比較的高かったが、これは、回転数が低くなってくると切削音が大きくなることが原因と思われる。

2-1-2.Mタイプのハンドピースについて

タイプ3のハンドピースにC型のブレードを組み込んだ場合は同一回転数では騒音レベルが低い傾向が認められ、A型とB型の場合は回転数が低く直接的な比較はできなかった（図17）。これは、噴流は斜め上からブレードにあたるので、形状がC型のブレードの場合は、

噴流を受ける効率が高く、一方、形状がA型の場合とB型の場合は、噴流を受ける効率が比較的低いためと考えられる。

2-2.騒音の周波数分析

2-2-1.Sタイプのハンドピースについて

Sタイプのハンドピースを使用した騒音の周波数分析結果において、いずれも、4,500[Hz]、9,000[Hz]、18,000[Hz]にピークが認められた(図18)。これは基本周波数、すなわち、ローターの回転数×ブレードの枚数をf[Hz]とするとf/8[Hz](但し8はブレードの枚数×ノズルの個数である)、f/4[Hz]、f/2[Hz]に相当する。

一方、図21に、ローター回転数を下げて、ピークの発生原因について検討するために行った金属製ハンドピースTの狭帯域の周波数分析結果を示す。ローター回転数は18万rpm(3,000rps)、ブレードの枚数は8枚である。従って、基本周波数は3,000[Hz]×8=

24,000［Hz］である。周波数分析結果では、基本周波数24,000［Hz］においてピークの発生が認められた。このピークはノズルからの噴流が、ブレードによって周期的に遮断され、定常空気流の圧縮と希薄化が起こることによって発生したもので、騒音は、定常流の周期的遮断によって発生する流体力学的騒音が関係していると考えられる[36,37]。

歯科用エアー・タービン・ハンドピースの騒音の発生機構に関しては、Ballら[9]、Holden[10]の報告がみられる。Ballら[9]は、回転数の数倍に等しい周波数成分が発生する可能性があると述べている。

また、Holden[10]は、ノズルが1個のハンドピースの場合、空気流がブレードによって遮断されることによって回転数×ブレードの枚数に等しい周波数においてピークが発生する可能性があると述べている。

本研究では、狭帯域の周波数分析器を使用し、周波数分析領域を25,000［Hz］まで拡大

し、さらに、ローター回転数を下げて、基本周波数（すなわち、ローターの回転数×ブレードの枚数）においてピークの発生を立証した。

Morrantら[8]は、騒音の周波数分析を行い、回転数に等しい周波数においてピークの発生を認めた。そのことより、騒音は、ローターが一回転するたびに、一回周期的に変動し、周囲の空気を圧縮と希薄化することによって発生すると述べている。そして、その周期的な変動は、ダイナミック・アンバランスに基づくと述べている。

本研究では、Sタイプのハンドピースを使用した狭帯域の周波数分析結果より、ローターの回転周波数（ローターの回転数に等しい周波数）においてピークの発生を認めた（図18）。ローター回転数は基本周波数をブレードの枚数で割った値に等しく、上記のピークは、低調波（subharmonics）の一つとみられる。

ローター回転数を、27万rpm［4,500rps］とした周波数分析結果を比較すると、ポリアセタール樹脂、ABS樹脂いずれの場合も基本周波数をf［Hz］とするとf/8［Hz］、f/4［Hz］、f/2［Hz］においてピークの発生が認められた（図18）。従って、定常流の周期的遮断によって発生する流体力学的騒音が関係していることは、両者共通である。しかし、ABS樹脂の場合は、ポリアセタール樹脂と比べ、特にそのピーク値の大きさをみると、18,000［Hz］のピーク値が小さい。これは、ABS樹脂は、樹脂／ゴムの二相構造をとり、ゴム状ポリマーが微分散した構造を持つため高音領域の吸振特性が向上したことによると考えられる。

2-2-2.Mタイプのハンドピースについて

Mタイプの場合の周波数分析結果において、いずれも、4,500［Hz］、9,000［Hz］、18,000［Hz］にピークが認められた（図19）。これは、基本周波数、すなわち、（N/60）×

ブレードの枚数×ノズルの個数（但しNは回転数［rpm］）をf［Hz］とすると、ノズルの個数が7個のタイプ3のハンドピースにブレードの枚数が12枚の樹脂製のCタイプのブレードを組み込んだ場合は、f/84［Hz］（但し、84はブレードの枚数12×ノズルの個数7である）、f/42［Hz］、f/21［Hz］に相当する。ブレードの枚数が24枚の金属製ハンドピースQの場合は、f/168［Hz］（但し、168はブレードの枚数24×ノズルの個数7である）、f/84［Hz］、f/42［Hz］に相当する。従って、周波数分析結果から、Mタイプの場合、樹脂製、金属製いずれの場合も、定常流の周期的遮断によって発生する流体力学的騒音が関係していることが推察される。Mタイプの場合、f［Hz］におけるピークの検出を行うためには回転数を下げなければならないが、回転数が低くなってくると、回転数は不安定となるため一定の回転数に固定することが困難である。

3.諸特性

3-1.初動圧力

初動圧力は、臨床で使用する際の操作性と安全性に関係する。初動圧力は、いずれも1psiであった（表4）。初動圧力に影響を与える因子の一つにブレードが噴流を受ける効率がある。また、ボール・ベアリング・タイプのハンドピースの場合、ローターは、ボール・ベアリングに支えられている。ボール・ベアリングのインナー・レース、ボール、ボール・ベアリングのアウター・レースは潤滑油を介しているが、潤滑油には粘性があるため、粘性抵抗を有する。これも初動圧力に影響を与える因子の一つである。さらに、ローターの重量も初動圧力に影響を与える因子の一つである。重量の大きいものは、摩擦力が増加するため初動圧力は高くなると思われる。樹脂製ブレードは、金属製ブレードより軽量であるが、実験結果上は、初動圧力に影響を与えるほどの差は生じなかった。

3-2.重量

重量は、Sタイプのハンドピースでは、ポリアセタール樹脂製のタイプ1は24g、ABS樹脂製のタイプ2が14gで、Mタイプのハンドピースでは、ABS樹脂製のタイプ3が14gであった（表4）。タイプ1とタイプ2の重量の差は、ハンドピースの樹脂の比重の差によるものである。

樹脂製ハンドピースは、金属製ハンドピースの20%から50%の重量である（表4）ので、かなり軽量になった。樹脂は金属と比較して、比重が小さいため軽量化できる。ハンドピースを軽量化することによって操作性を向上させることができ、歯科医師の治療効率の向上につながると期待される。

結　論

現在臨床で使用されている金属製ハンドピースは、騒音が大きいので、騒音の発生機構を追跡して騒音のできるだけ発生しないハンドピースの開発が望まれている。また、金属製ハンドピースは、比較的重く、価格も高いため、加工方法、材質面等を検討し、操作性の向上や、コスト・ダウンをはかることも意義深いものと思われる。

本研究では、このような金属製ハンドピースの欠点を、材料を樹脂化することにより、改善することを試みた。

樹脂製および金属製ハンドピースについての実験結果をまとめると次のようになる。

1．ハウジングだけを樹脂にしたシングル・ノズル・タイプのハンドピースは、金属製ハンドピースと比較して、同一空気圧に対して回転数は、高い傾向が認められ、騒音レベルの低減傾向が認められた。マルチ・ノズル・

タイプのハンドピースは、金属製ハンドピースと比較して、同程度の回転数が得られ、騒音レベルは低下する傾向が認められた。

2. 騒音の周波数分析結果より、基本周波数（すなわち、ローターの回転数×ブレードの枚数）においてピークの発生が認められた。このことから、騒音は定常流の周期的遮断によって発生する流体力学的騒音が関係していると考えられる。

3.樹脂製ハンドピースの初動圧力は金属製ハンドピースの場合と同程度であった。

4. 樹脂製ハンドピースは、金属製ハンドピースの20%から50%の重量であり軽量化することができた。

以上をまとめると、ハンドピースの軽量化に伴う操作性の向上、音響工学的特性の向上、デザイン的には審美性の向上などの諸特性を備え、さらに、経済性を考慮してコスト・ダウンをはかった、新しい樹脂製エアー・タービン・ハンドピースの開発が可能であること

が明らかとなった。

稿を終えるにあたり、本研究を行う機会を与えて頂き、御指導と御校閲を賜りました、大阪大学歯学部歯科理工学講座木村　博教授に心より感謝の意を捧げます。

また、本研究に御協力を頂いた、大阪大学工作センター森本正治氏と塩見昌弘氏、大阪大学工学部佐藤隆二助教授、日本建築総合試験所、而至歯科工業株式会社、光広工業株式会社ならびに松貿機器株式会社に感謝申し上げます。

最後に、実験、研究に際し、御支援を頂きました大阪大学歯学部附属病院の関係各位ならびに歯科理工学教室の教室員各位に謝意を表します。

文 献

1) Cantwell,K.R.,Tunturi,A.R. and Manny,V.R. (1960) :Noise from high-speed dental handpieces.J.Am.Dent. Assoc.,61,571-577.

2) Cantwell,K.R.,Tunturi,A.R. and Sorenson,F.M. (1965) :Noise levels of a newly designed handpiece.J.Prosthet.Dent.,15,356-359.

3) Coopermann,H.N.,Wallace,J.D. and Nerlinger,R.E. (1965) :Radiated noise from high speed dental handpieces.D.Dig.,71,404-407.

4) Krammer,R.V. (1968) :High speed equipment and dentists' health.J.Prosthet.Dent.,19,46-50.

5) Rapp,G.W. (1971) :Some physiolosic responses to high-speed handpieces noises.D.Dig.,77,136-140.

6) Schubelt,E.D. and Glorig,A.(1963):Noise exposure from dental drills.J.Am.Dent.Assoc.,66,751-757.

7) 高安　昭(1964):歯科用エアータービンエンジンの衛生学的研究. 材器誌,11,41-70.昭和39.

8) Morrant,G.A.,Powell,J.W. and Hargreaves,P.(1964):Air Bearings and Their Application to Dental Air Turbine Handpieces.Br.Dent.J.,116,531-539.

9) Ball,J.S. and Davidson,C.W.(1962):Estimation of the Air Turbine Rotational Speed Under Clinical Conditions.Br.Dent.J.,112,208-210.

10) Holden,G.G.P.(1962):Some observations on the Vibratory Phenomena Associated with High Speed Air Turbines and Their Transmission to Living Tissue.Br.Dent.J.,113,265-275.

11) 石井聖光（1982）：騒音・振動対策ハンドブック（日本音響材料協会編）．1版，技報堂，東京，51-82，昭和57．

12) 西宮　元（1978）：騒音・振動（上）（子安　勝編）．1版，コロナ社，東京，62-115，昭和53．

13) 永井進（1987）：プラスチック読本（大阪市立工業試験所プラスチック読本編集委員会，プラスチック技術協会共編）．15版，プラスチックス・エージ，東京，149-151，昭和62．

14) 桜内雄二郎（1987）：新版プラスチック材料読本．新版1版，工業調査会，東京，193-196，昭和62．

15) 日本歯科大学「歯科用語集」編集委員会編（1980）：新常用歯科辞典．2版、医歯薬出版、東京、237、昭和55．

16) 上田明（1987）：プラスチック読本（大阪市立工業試験所プラスチック読本編集委員会，プラスチック技術協会共編）．

15版，プラスチックス・エージ，東京，113-116，昭和62．

17）福田明徳（1987）：プラスチック読本（大阪市立工業試験所プラスチック読本編集委員会，プラスチック技術協会共編）．15版，プラスチックス・エージ，東京，282-287，昭和62．

18）桜内雄二郎（1987）：新版プラスチック材料読本．新版1版，工業調査会，東京，180-225，昭和62．

19）廣恵章利，倉田貞彦，藤田　滋，名児耶巌，島　喜治（1982）：プラスチック加工の基礎（高分子学会編）．1版，工業調査会，東京，175-215，昭和57．

20）桜内雄二郎（1987）：新版プラスチック材料読本．新版1版，工業調査会，東京，349-351，昭和62．

21）桜内雄二郎（1986）：新版プラスチック技術読本．新版18版，工業調査会，東京，97-142，昭和61．

22）四辻　晃，長谷川喜一（1987）：プラスチック読本（大阪市立工業試験所プラスチック読本編集委員会，プラスチック技術協会共編）．15版，プラスチックス・エージ，東京，202-210，昭和62．

23）大島敬治（1971）：GUIDE BOOK プラスチック．1版，六月社書房，235-244，昭和46．

24）宮入裕夫、村松篤良（1979）：歯科用エアタービンハンドピースの性能に関する研究（第1報）エアベアリングハンドピースの回転性能に及ぼす供給空気圧力とバーの長さについて．歯理工誌、20、194-198．昭和54．

25）宮入裕夫、永井正洋、村松篤良（1980）：歯科用エアタービンハンドピースの性能に関する研究（第2報）エアタービンハンドピースの種類とその回転性能．歯理工誌、21、35-40．昭和55．

26）明石和彦，浅羽正三，下村　玄（1976）

:改訂動つりあい試験．9版，コロナ社，東京，9-15,昭和51．

27）福田基一（1982）:騒音・振動対策ハンドブック（日本音響材料協会編）．1版，技報堂，東京，181-182,昭和57．

28）守田　栄，松浦　尚（1977）:騒音・振動入門．1版，オーム社，東京，102-105,昭和52．

29）亘理　厚（1975）:機械振動．3版，丸善，東京，259-261,昭和50．

30）明石和彦，浅羽正三，下村　玄（1976）:改訂動つりあい試験．9版，コロナ社，東京，35,昭和51．

31）十合晋一（1985）:気体軸受－設計から製作まで－．1版，共立出版，東京，121-123,昭和60．

32）子安　勝，中野有朋，五十嵐寿一，橘秀樹，時田保夫（1982）：騒音・振動（下）．1版，コロナ社，2-7,146-191,昭和57．

33) 福田基一（1976）：騒音防止工学．1版，日刊工業新聞社，東京，74-75，昭和51．

34) 飯野　香（1974）：防音装置の設計．1版，理工図書，東京，256-260，昭和49．

35) 福田基一（1982）：騒音・振動対策ハンドブック（日本音響材料協会編）．1版，技報堂，東京，162-165，昭和57．

36) 福田基一（1982）：騒音・振動対策ハンドブック（日本音響材料協会編）．1版，技報堂，東京，178，昭和57．

37) 守田　栄，松浦　尚（1977）：騒音・振動入門．1版，オーム社，東京，103-104，昭和52．

図・表の説明

図1　エアー・タービン・ハンドピースのヘッド部の基本構造。

図2　シングル・ノズル・タイプのハンドピースのヘッド部の基本構造。

点O：ローター回転軸の中心

点R：ノズルの位置

点S：噴流がブレードにあたる力点

a：点Oと点Sとの距離

b：点Pと点Rとの距離

r：ヘッド部の半径

図3　試作樹脂製ハンドピースと市販金属製ハンドピース外観。

S type：シングル・ノズル・タイプ（Sタイプ）の樹脂製ハンドピース

M type: マルチ・ノズル・タイプ（Mタイプ）の樹脂製ハンドピース

Type 0、Type 1、Type 2: Sタイプの樹脂製ハンドピース

Type 3: Mタイプの樹脂製ハンドピース

Tradition: Sタイプの比較対照ハンドピース

Quiet-air: Mタイプの比較対照ハンドピース

図4　タイプ0のハンドピースのヘッド部およびタービン・ローターの外観。

ヘッド部を5種類、ローターを5種類製作した。ヘッド部の仕様を（b）図に、ローターの仕様を（c）図に示す。ブレード、シャフト、チャックはいずれもポリアセタール樹脂で製作した。軸受部のみ金属である。

図5　樹脂製および金属製タービン・ブレードの外観。

φ8.50、φ8.70、φ8.90、φ8.95：Sタイプのハンドピース用の樹脂製ブレード

A type、B type、C type：Mタイプのハンドピース用の樹脂製ブレード

Tradition：金属製ハンドピース・トラディションのブレード

Quiet-air：金属製ハンドピース・クワイエット・エアーのブレード

図6　A型、B型、C型のタービン・ブレードの形状。

図7　ハンドピースの負荷状態を示す模式図。

図8　無音響室における、ハンドピースの回転数および騒音特性測定システム。

図9　タイプ0のハンドピースにおいて噴射角βを変化させたときの空気圧と回転数との関係（無負荷）。

図10　タイプ0のハンドピースにおいて、β＝10°として、ドライブ・エアー・ノズルの径を変化させたときの空気圧と回転数との関係（無負荷）。

図11　タイプ0のハンドピースにおいて、β＝10°、ノズル径1.0mmとして、タービン・ブレードの枚数を変化させたときの空気圧と回転数との関係（無負荷）。

図12　各種シングル・ノズル・タイプのハンドピースの空気圧と回転数との関係（無負荷）。

図13　シングル・ノズル・タイプのハンドピースの空気圧と回転数との関係（負荷）。

図14　ブレード形状を変えたマルチ・ノズル・タイプのハンドピースの空気圧と回転数との関係（無負荷）。

図15　各種シングル・ノズル・タイプのハンドピースの回転数と騒音レベルとの関係（無負荷）。

図16　シングル・ノズル・タイプのハンドピースの回転数と騒音レベルとの関係（負荷）。

図17　ブレード形状を変えたマルチ・ノズル・タイプのハンドピースの回転数と騒音レベルとの関係（無負荷）。

図18　シングル・ノズル・タイプのハンドピースの騒音の周波数特性（無負荷）。

図19　マルチ・ノズル・タイプのハンドピ

ースの騒音の周波数特性（無負荷）。

図20　シングル・ノズル・タイプのハンドピースの空気圧と相当仕事率との関係（負荷）。

図21　金属製ハンドピース・トラディションの騒音の周波数特性（無負荷）。

表1　実験を行ったハンドピースの種類および実験項目。

表2　タイプ0のハンドピースのヘッド部のノズルとローターの形状要素。

表3　各種ハンドピースの回転数と騒音特性測定条件。

表4　各種ハンドピースの初動圧力と重量。

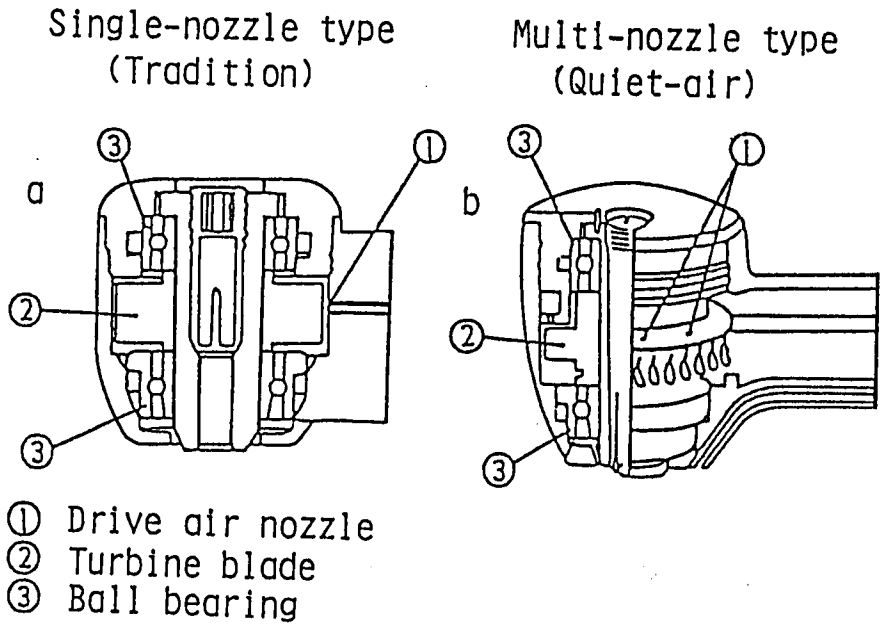

Single-nozzle type
(Tradition)
Multi-nozzle type
(Quiet-air)
a
b
① Drive air nozzle
② Turbine blade
③ Ball bearing

図 1

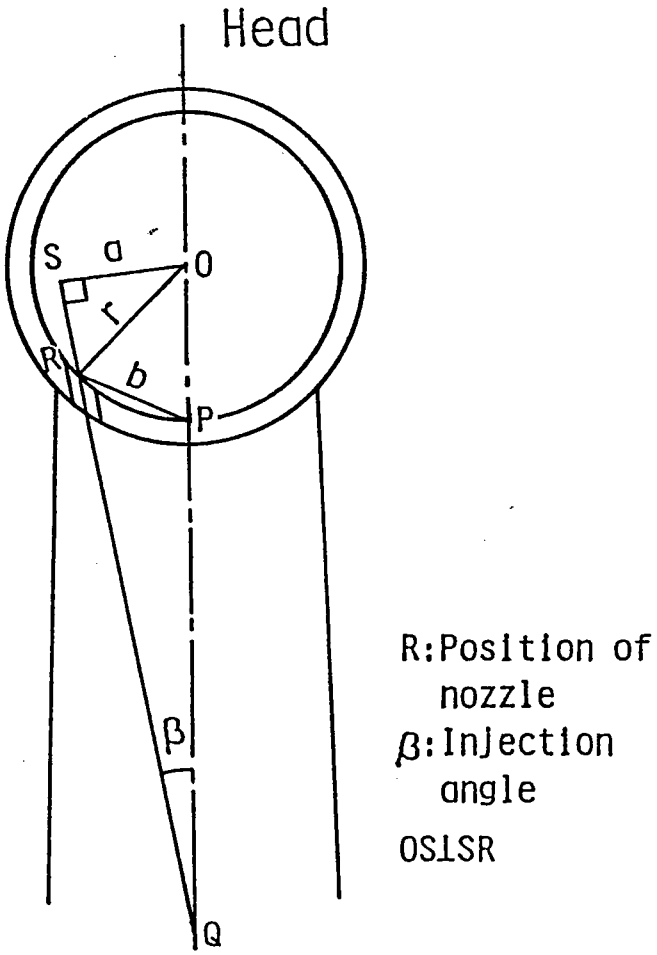


図 2

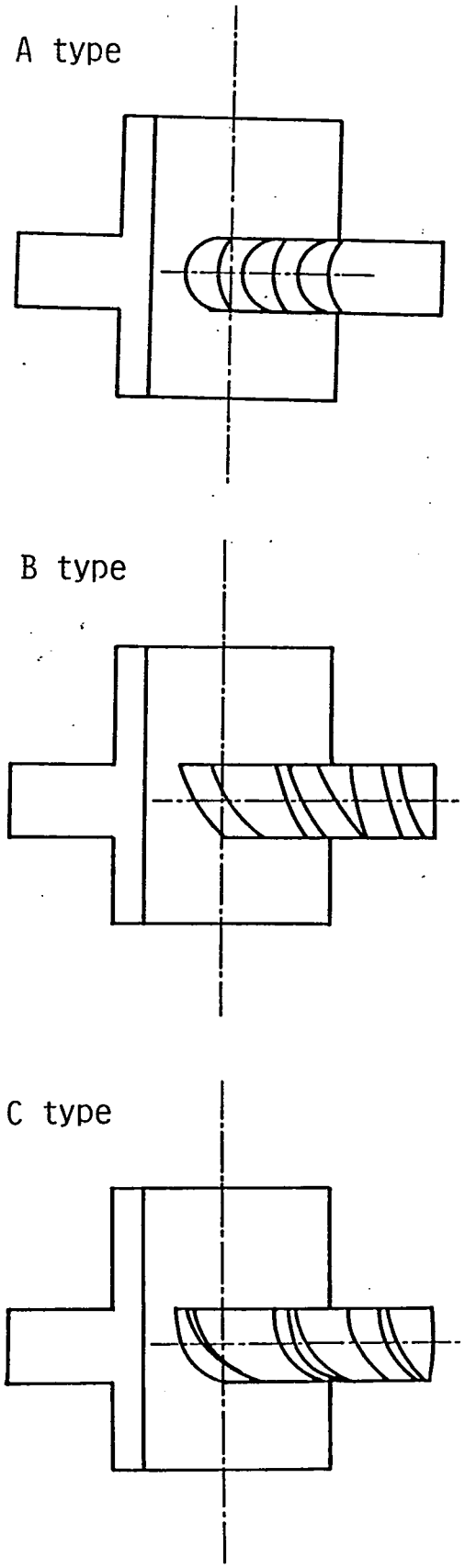


図 6

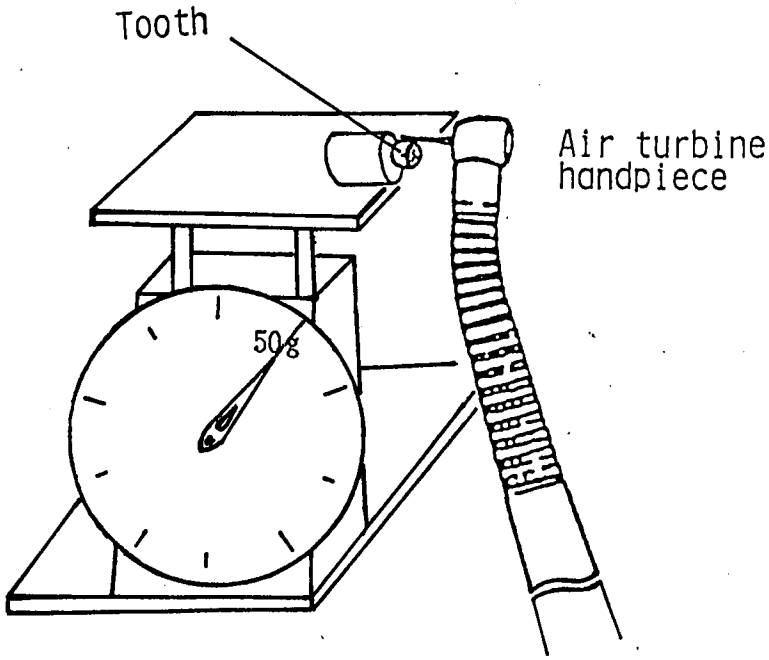


図 7

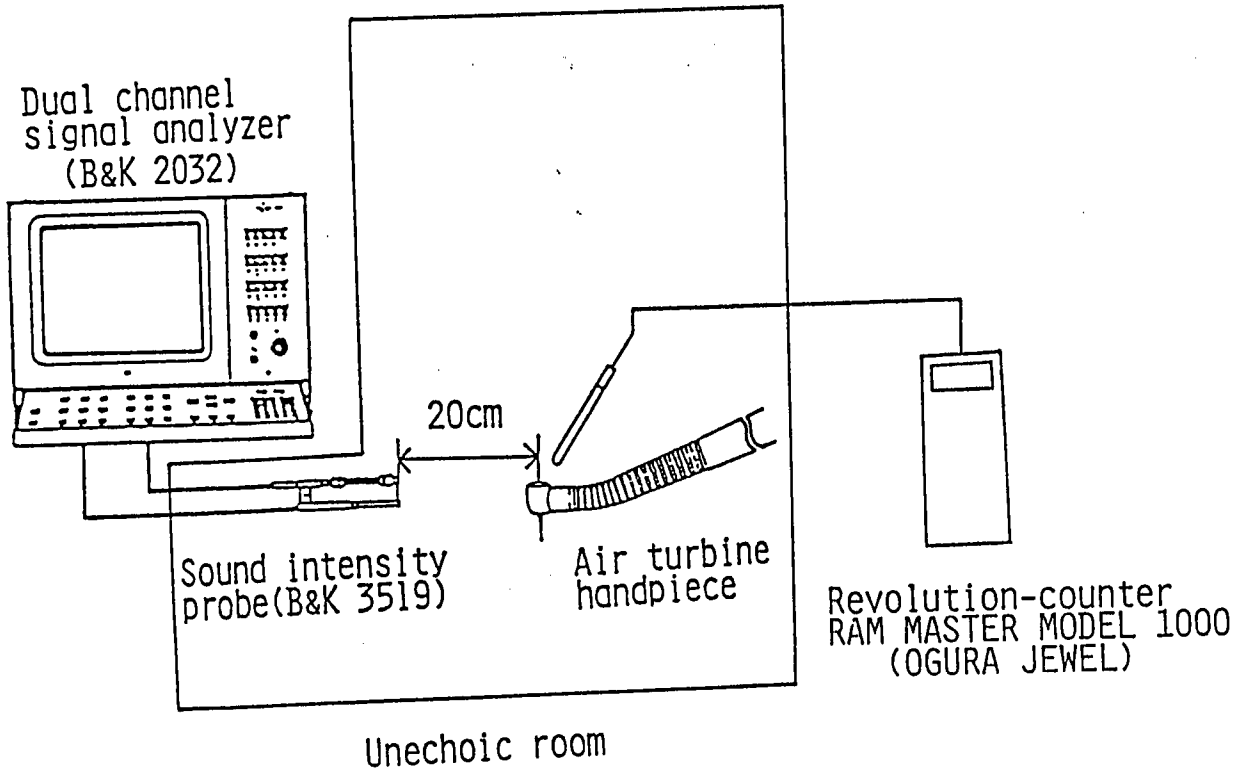

Dual channel
signal analyzer
(B&K 2032)
20cm
Sound intensity
probe(B&K 3519)
Air turbine
handpiece
Revolution-counter
RAM MASTER MODEL 1000
(OGURA JEWEL)
Unechoic room

図 8

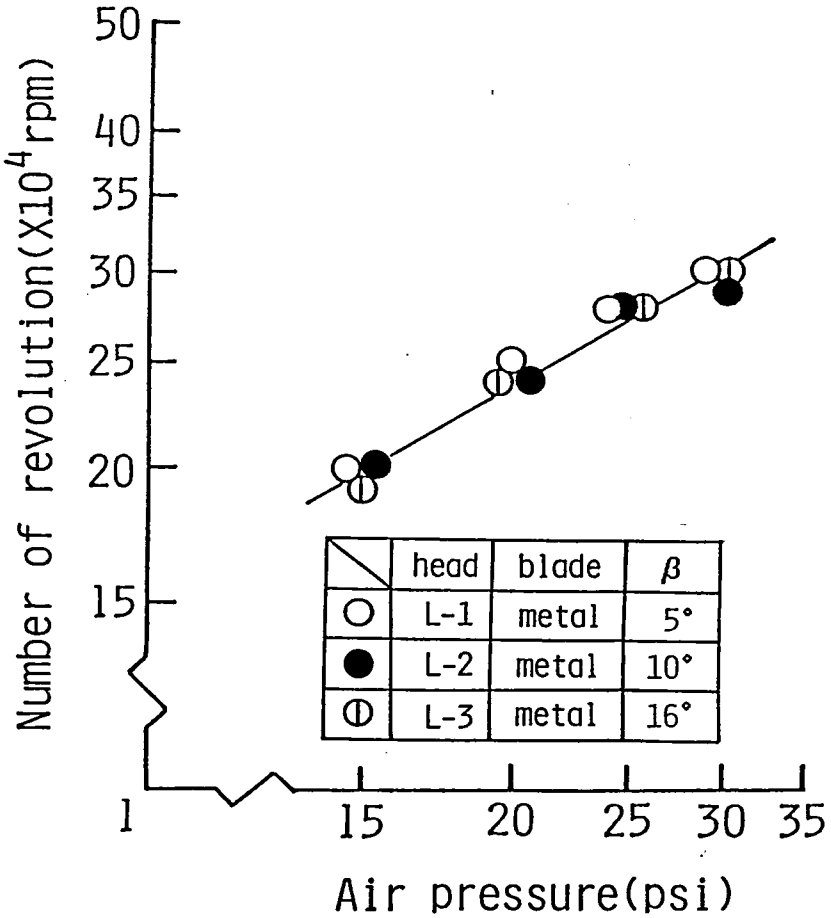

Number of revolution(X10^4 rpm)
50
40
35
30
25
20
15
1
15
20
25
30
35
Air pressure(psi)
head
blade
β
L-1
metal
5°
L-2
metal
10°
L-3
metal
16°

図 9

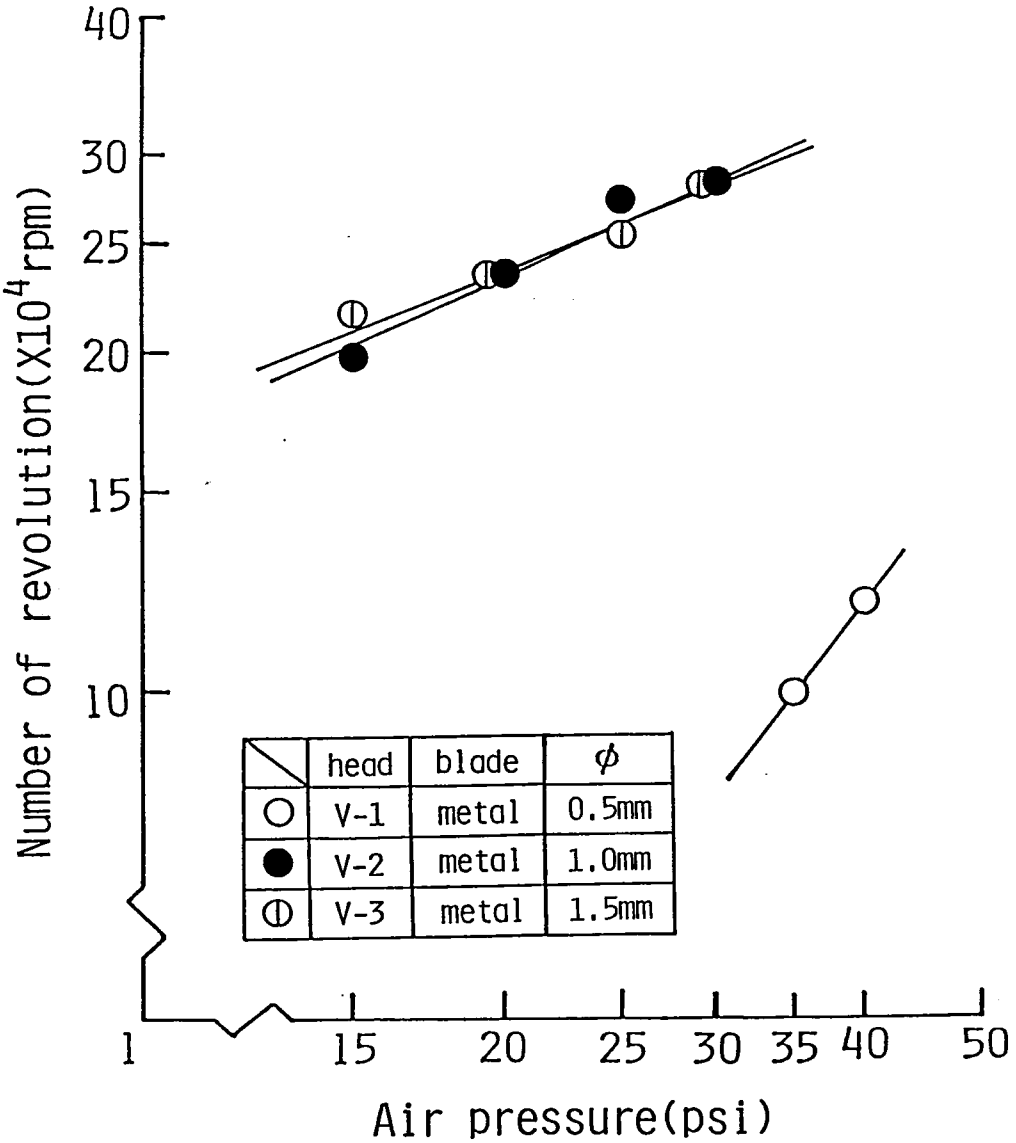

Number of revolution(X10^4rpm)
40
30
25
20
15
10
1
15
20
25
30
35
40
50
Air pressure(psi)
head
blade
φ
V-1
metal
0.5mm
V-2
metal
1.0mm
V-3
metal
1.5mm

図 10

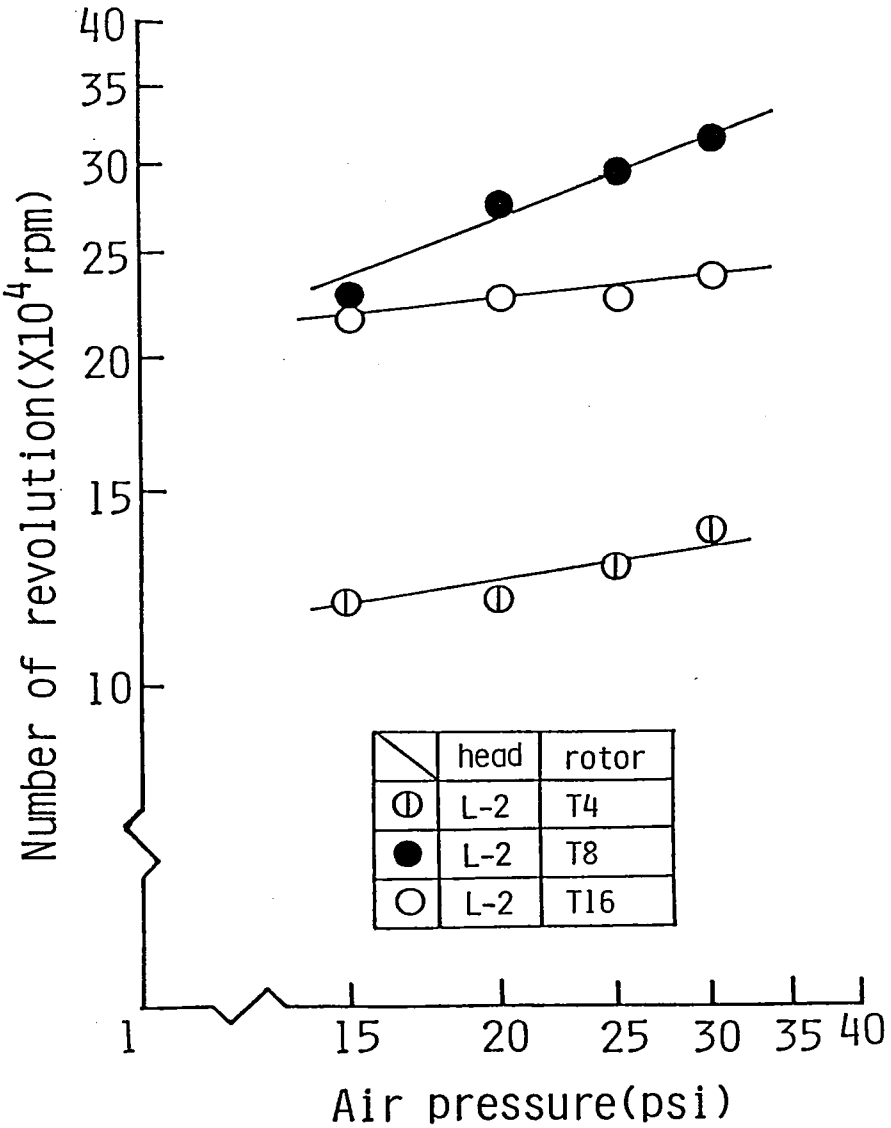

40
35
30
25
20
15
10
Number of revolution(X10^{4}rpm)
1
15
20
25
30
35
40
Air pressure(psi)
head
rotor
L-2
T4
L-2
T8
L-2
T16

図 11

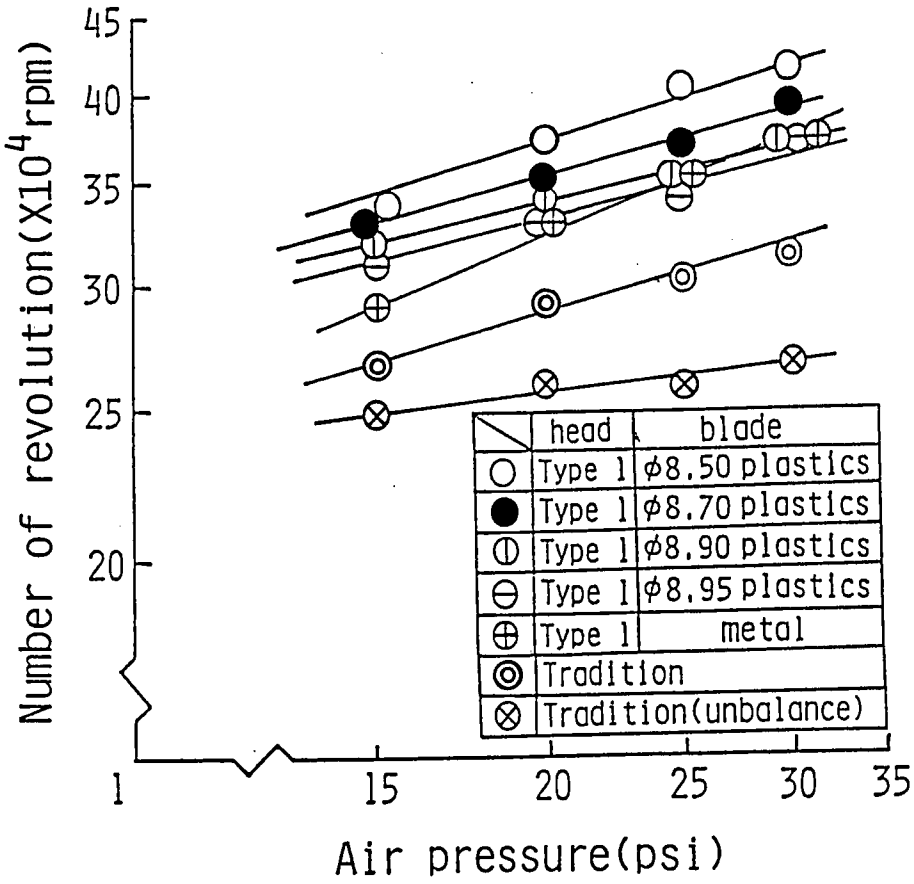

Number of revolution(X10^4 rpm)
45
40
35
30
25
20
1
15
20
25
30
35
Air pressure(psi)
head
blade
Type 1
φ8.50 plastics
Type 1
φ8.70 plastics
Type 1
φ8.90 plastics
Type 1
φ8.95 plastics
Type 1
metal
Tradition
Tradition(unbalance)

図 12

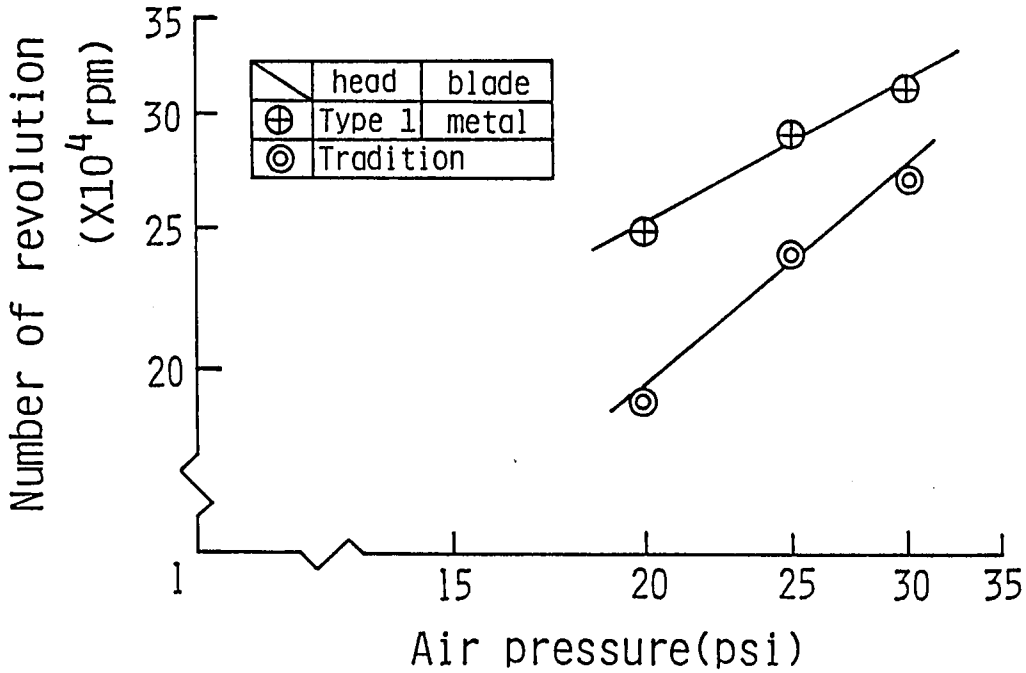

Number of revolution
(X10^4 rpm)
35
30
25
20
1
head
blade
Type 1
metal
Tradition
15
20
25
30
35
Air pressure(psi)

図 13

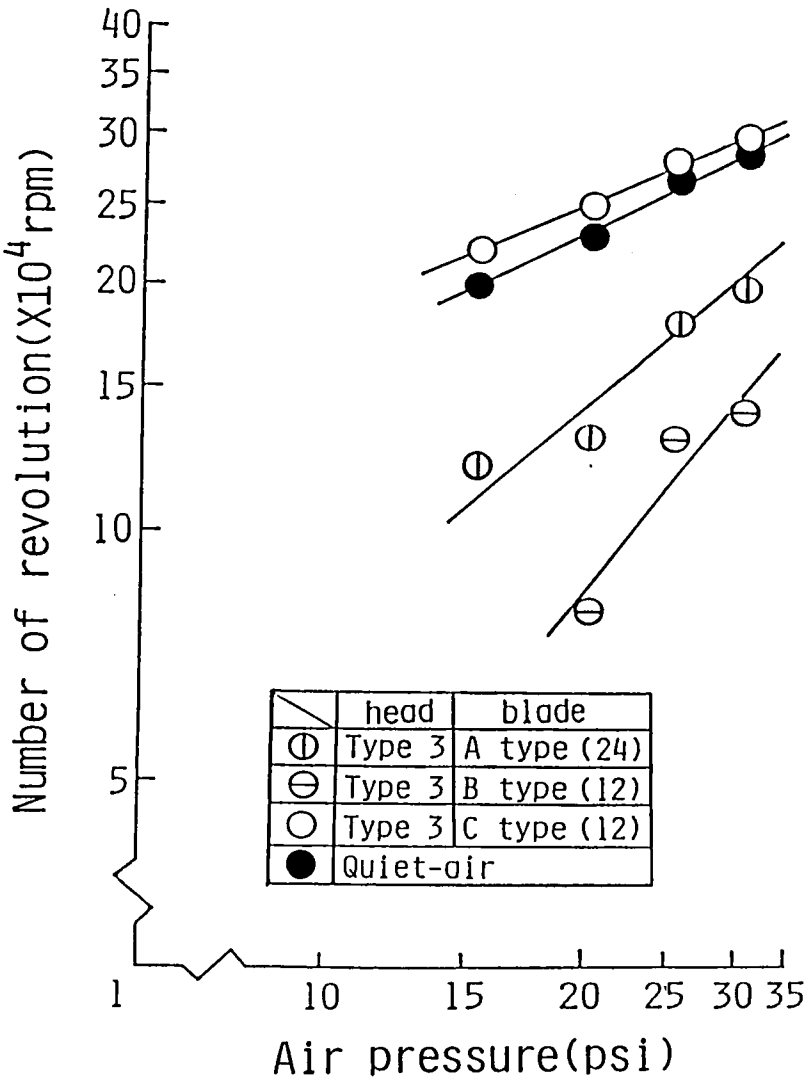

Number of revolution(X10^4rpm)
40
35
30
25
20
15
10
5
1
10
15
20
25
30
35
Air pressure(psi)
head
blade
Type 3
A type (24)
Type 3
B type (12)
Type 3
C type (12)
Quiet-air

図 14

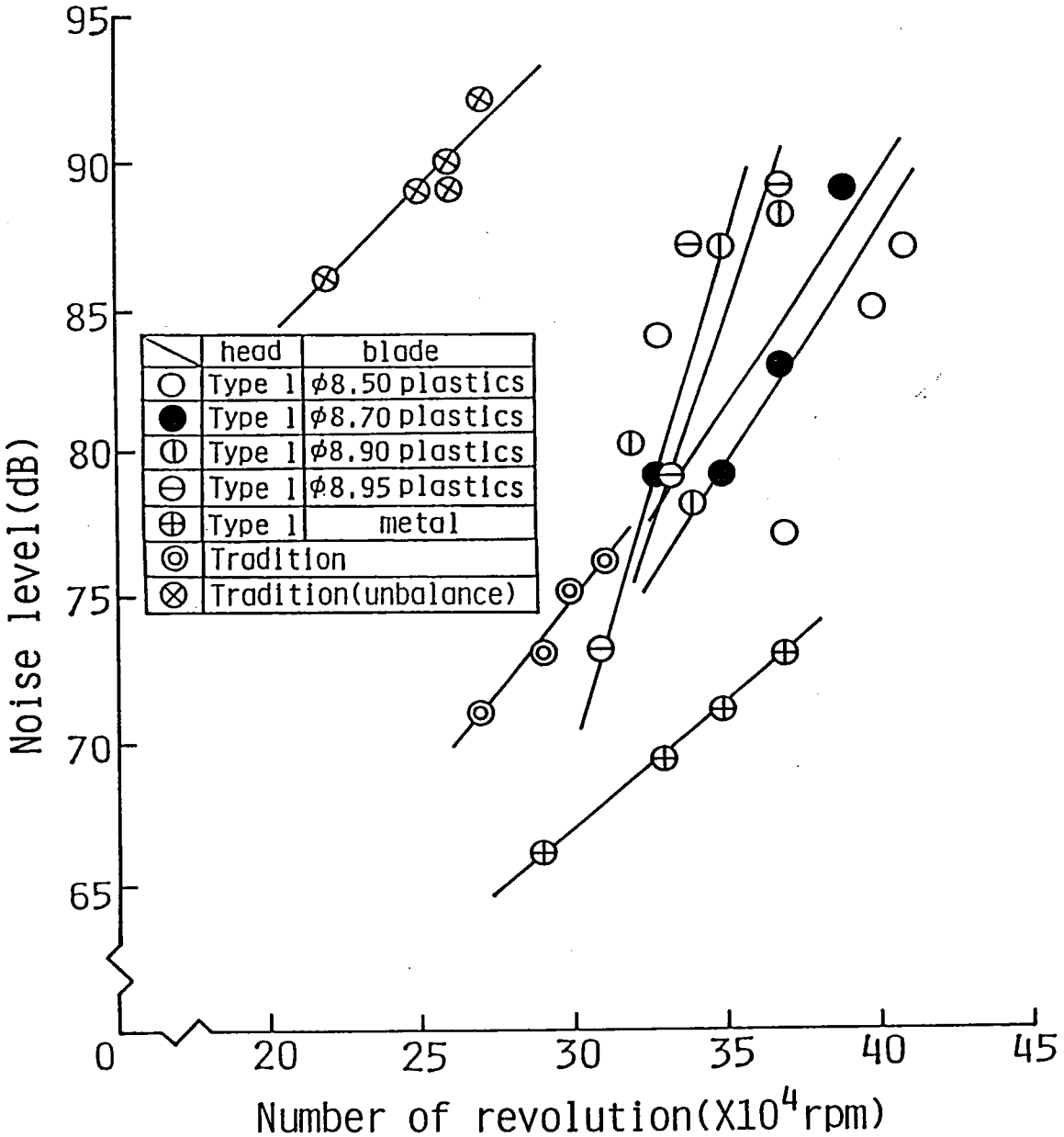

95
90
85
80
75
70
65
0
20
25
30
35
40
45
Noise level(dB)
Number of revolution(X10^4rpm)
head
blade
Type 1
φ8.50 plastics
Type 1
φ8.70 plastics
Type 1
φ8.90 plastics
Type 1
φ8.95 plastics
Type 1
metal
Tradition
Tradition(unbalance)

図 15

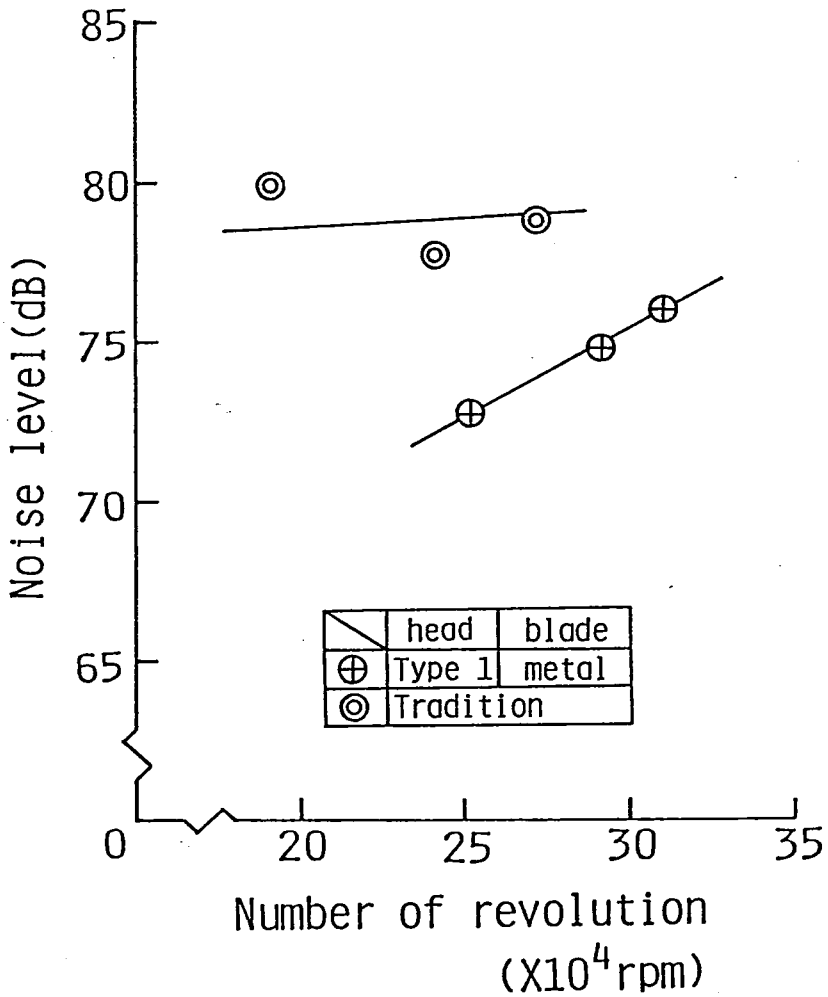

85
80
75
70
65
0
20
25
30
35
Noise level(dB)
Number of revolution
(X10^4rpm)
head
blade
Type 1
metal
Tradition

図 16

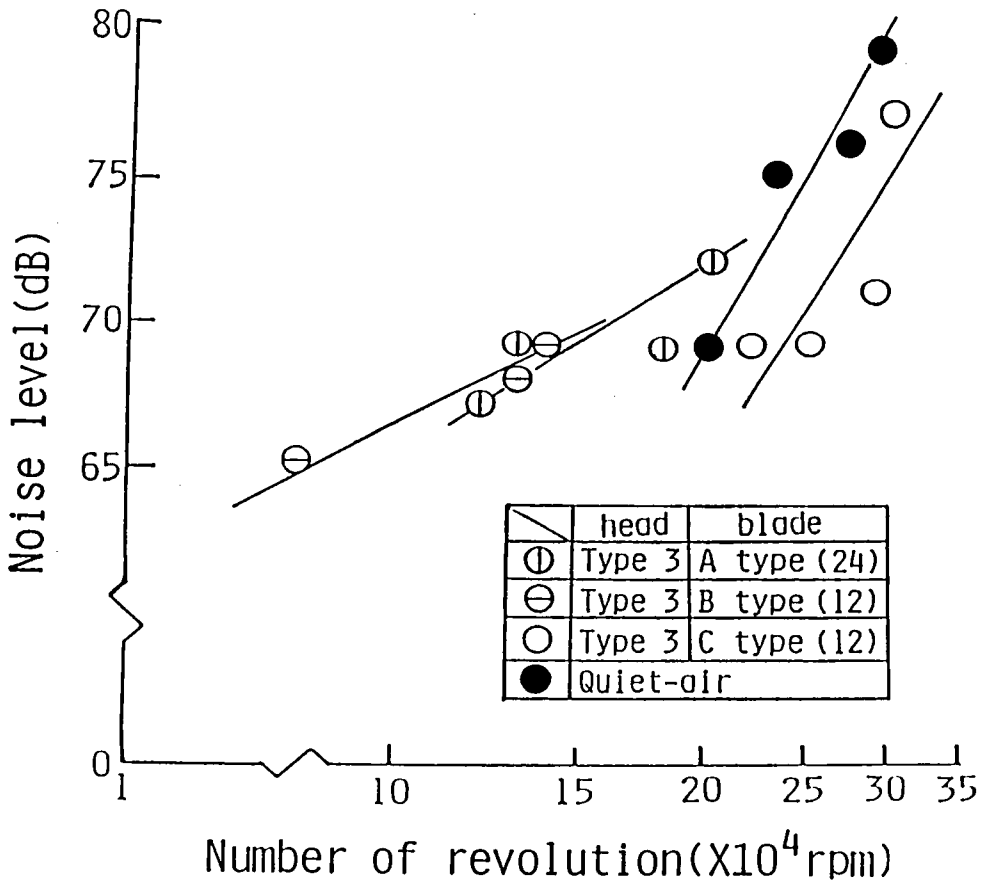

80
75
70
65
0
Noise level(dB)
1
10
15
20
25
30
35
Number of revolution(X10^4rpm)
head
blade
Type 3
A type (24)
Type 3
B type (12)
Type 3
C type (12)
Quiet-air

図 17

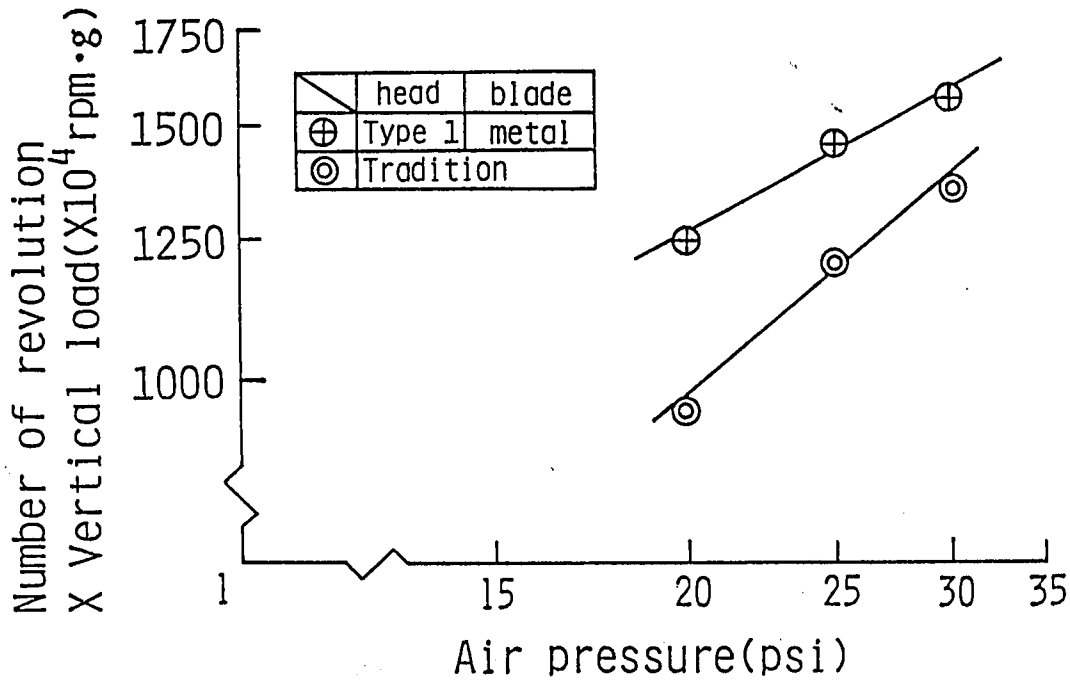

Number of revolution
X Vertical load(X10^4 rpm·g)
1750
1500
1250
1000
1
15
20
25
30
35
Air pressure(psi)
head
blade
Type 1
metal
Tradition

図 20

表 1

Kinds of air turbine handpiece		Experimental items
Single-nozzle type (Tradition)	Type 0	Injection angle Diameter of drive air nozzle Number of turbine blades
	Type 1	Number of revolution Acoustic characteristics Start pressure Weight
	Type 2	
Multi-nozzle type (Quiet-air)	Type 3	

Where, Type 0: Plastics handpiece (Polyacetal)
Type 1: Plastics handpiece (Polyacetal)
Type 2: Plastics handpiece (ABS)
Type 3: Plastics handpiece (ABS)

表 2

Nozzle		Turbine rotor
Injection angle β	Diameter [mm]	Number of turbine blades
5°	0.5	1
10°	1.0	2
16°	1.5	4
		8
		16

表 3

Load condition	no-load	on-load
Vertical load	-	50g
Cutting instrument	B1( )	
Water	off	
Chip air	off	
Distance between air turbine and microphone	20cm	
Air pressure	0～40psi (0～2.8kgf/cm^2)	

表 4

Air turbine handpiece	Start pressure (psi)	Weight (g)
Plastics handpiece type 1	1	24
Plastics handpiece type 2	1	14
Plastics handpiece type 3	1	14
Tradition	1	52
Quiet-air	1	70

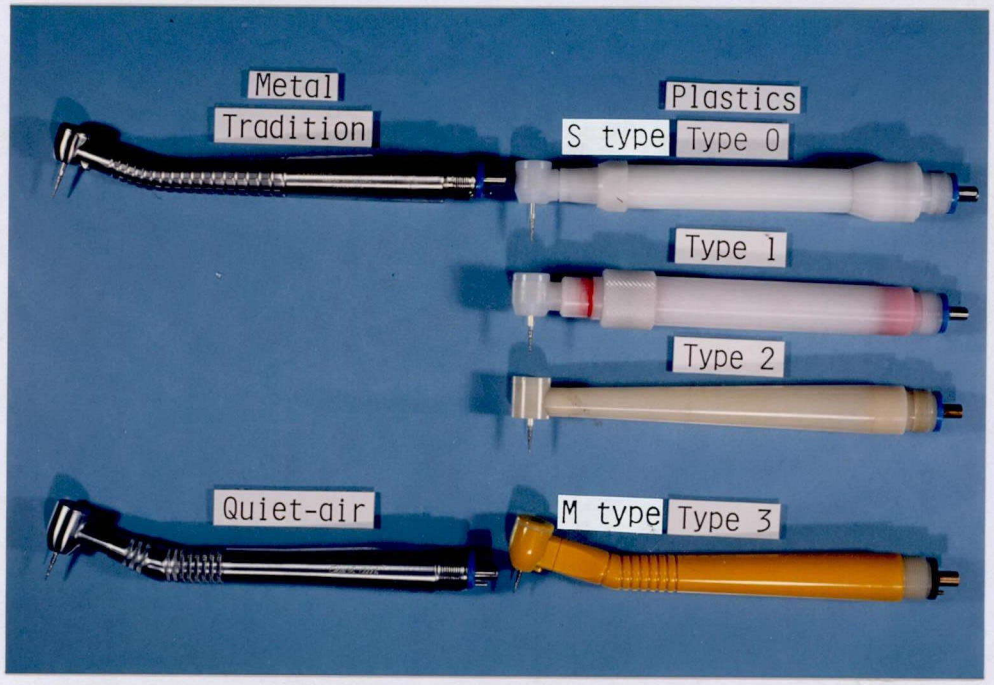
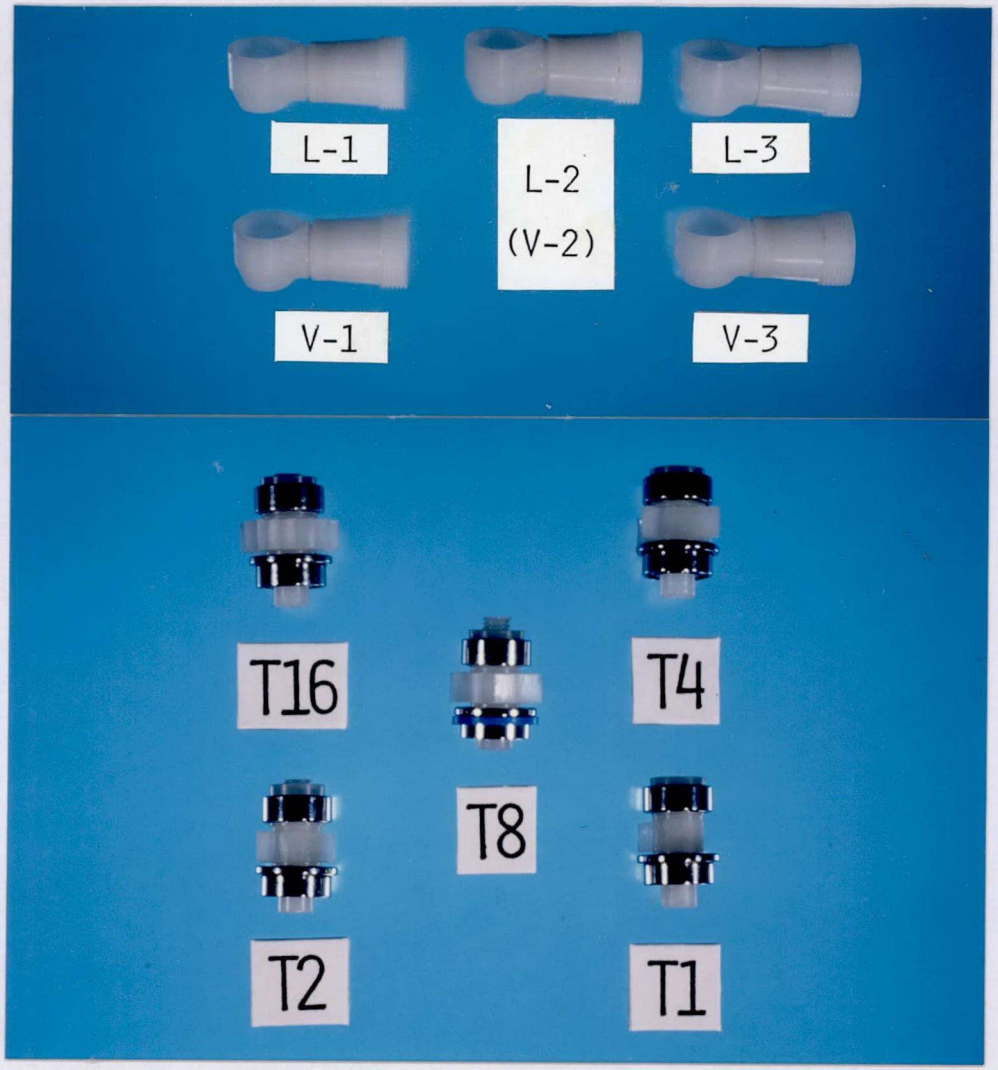

Metal
Tradition
Plastics
S type
Type 0
Type 1
Type 2
Quiet-air
M type
Type 3

図 3



(a)

Kinds of head	Injection angle β	Diameter [mm]
L-1	5°	1.0
L-2(V-2)	10°	1.0
L-3	16°	1.0
V-1	10°	0.5
V-3	10°	1.5

(b)

Kinds of turbine rotor	Number of turbine blades
T1	1
T2	2
T4	4
T8	8
T16	16

(c)

図 4

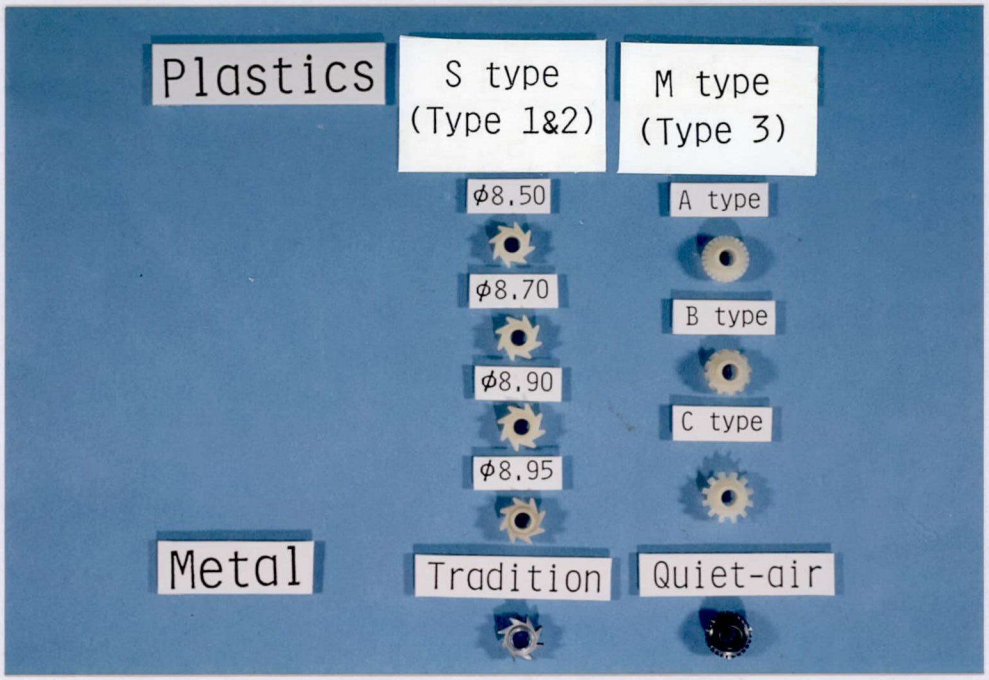
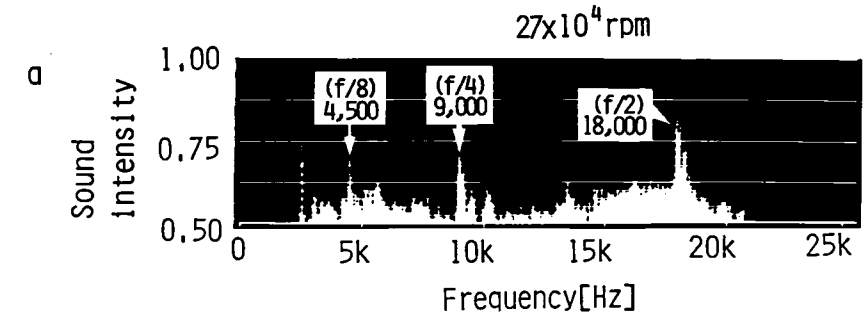
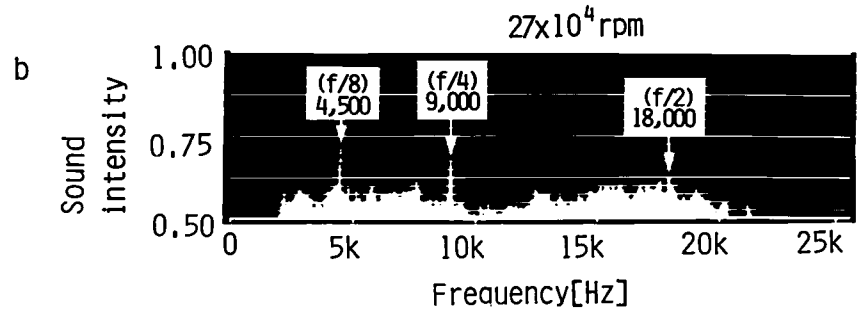
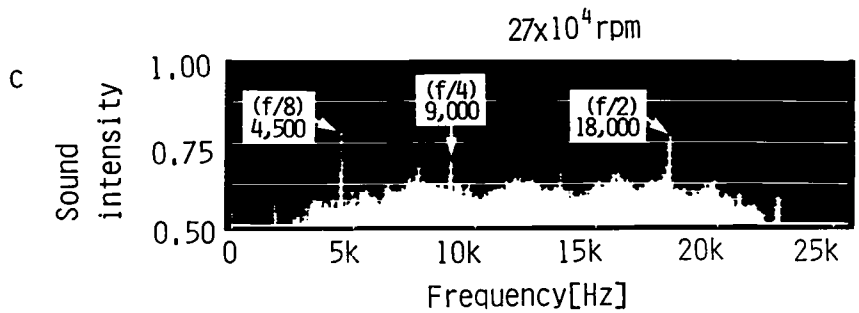

Plastics
S type
(Type 1&2)
M type
(Type 3)
φ8.50
φ8.70
φ8.90
φ8.95
A type
B type
C type
Metal
Tradition
Quiet-air

図 5

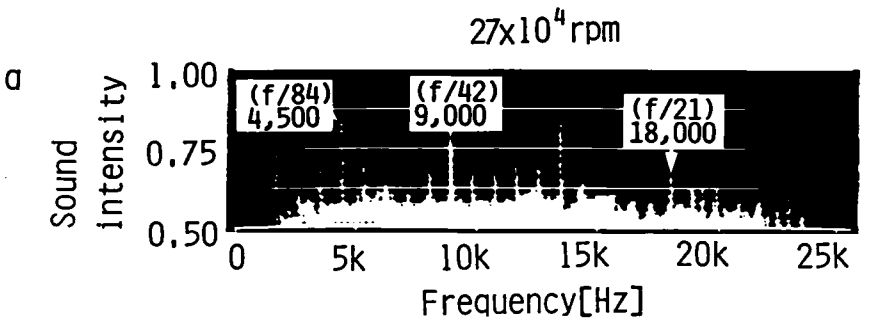


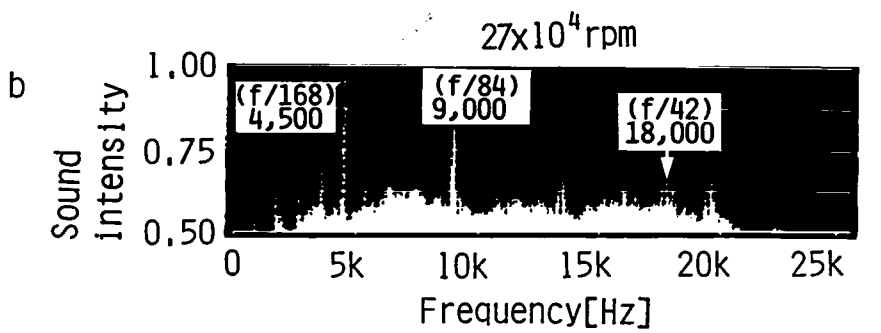




a:Type 1-metal blade
b:Type 2-metal blade
c:Tradition

図 18





a:Type 3-plastics blade(C type)
b:Quiet-air

図 19

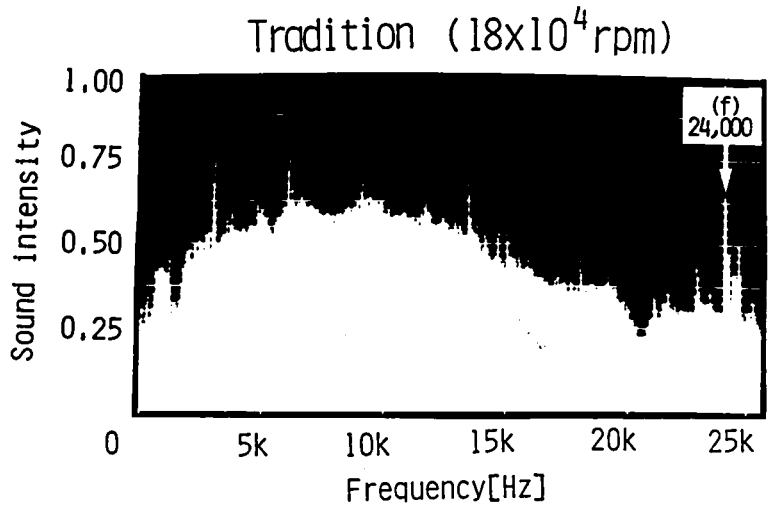

Tradition (18x10^4rpm)
1.00
0.75
0.50
0.25
0
Sound intensity
(f)
24,000
5k
10k
15k
20k
25k
Frequency[Hz]

図 21