

研究概要報告書

資料-9

(1/2)

研究題名	フルートの自動演奏に関する研究	報告書作成者	川中洋一
研究従事者	川中洋一, 花田桂一		
研究目的	<p>研究目的 電空圧力比例弁により、最適な圧力をマウスに送り、キィの開閉には小形のエアシリンダを用いて、フルートの自動演奏が可能になった。さらに、よりきめの細かい音楽を追求していくと、現在使用しているパーソナルコンピュータでは処理速度に限界がある。そこで、32ビットのパーソナルコンピュータ及び高応答な空気圧機器を用いて、長い曲、テンポの早い曲の演奏を可能にする。さらに、音をFFTアナライザーで周波数分析を行い、最適な周波数になるような圧力を求めることを目的としている。さらに、シロフォンの自動演奏ロボットの開発も目的としている。</p>		

様式-9

研究内容

研究内容

制御のプログラムには、多くの分岐条件、計算があるが、高速処理及びメモリメモリ容量の大きなコンピュータを使用することによって、長い曲、テンポの速い曲も演奏できるようになった。

また、コンピュータによって制御されるボードの数を増して、8msでオンオフするような高速なオンオフ弁を使用することにより、16,32分音符が多くある曲でも演奏できるようになった。 マウスピースに送る圧力をマイクで取り込み、それを周波数分析するためにFFTアナライザーで解析し、最適な圧力を求めて、より音楽性を高めることができた。

また、空気圧機器を用いたシロフォンの自動演奏ロボットの開発を試みた。今後、バックグラウンドミュージックとしてフルートとシロフォンを同時に演奏したい。

フルートの自動演奏

東洋大学工学部機械工学科

川中洋一 花田桂一

keywords flute, automatic playing robot, electro pneumatic pressure proportional valve

1. 緒言

ロボットにおける組立、搬送などに用いられている空気圧機器がメカトロニクス化に対応して高機能、高応答化している。これらの空気圧機器を用い、フルートの自動演奏を試みた。^{1)・2)・3)・4)}フルートのキィの開閉に小型のエアシリンダを用い、マウスピースに送る空気圧は電空圧力比例弁および高速オンオフ弁を用い、パーソナルコンピュータによって制御されて、フルートの自動演奏を行うことができた。

フルートに代表される吹奏楽器は、鍵盤楽器などとは違い、音を出すためにさまざまな不安定な要素がある。例えば、音階によって、フルートと唇との当て方を変えたり、ピッチ（音の高低）を吹き出す空気圧によって、調節しなければならないこと、⁵⁾人が演奏しているとフルートの温度が上昇し、ピッチが変化することなど不安定な要素が多くある。

自動演奏では演奏中にフルートの温度が上昇するという不安定要素はないが、人のようにフィードバック制御は現状ではできない。

2. 実験装置

装置の全体図および写真を図1、図2に示す。コンプレッサから送られてきた圧縮空気はエアドライア、フィルター、ミストセパレータ、タンクを通して、高速オンオフ弁、電空圧力比例弁に送られると同時に、マニフォールドを通して、小型のエアシリンダにも送られてキィの開閉を行う。小型エアシリンダは復動式ベンシリンダでシリンダ内径10mm、ストローク10mmのものを10個使用した。

電空圧力比例弁はノズルフラップ形式のサーボ弁で、圧力制御範囲0-0.1MPaで、直線性±0.05%F.S.、ヒステリシス1.0%F.S.以下である。無負荷時のステップ応答の時定数は最高使用圧力で、0.2秒以下である。高速オンオフ弁の応答速度はカタログによれば、開く場合は0.007秒、また閉じる場合は0.0052秒である。高速オンオフ弁を電空圧力比例弁の直後に設置したのは、電空圧力比例弁の応答速度が遅いので、曲がスタートして、シリンダが作動しても、マウスピースに空気が送られず、フルートの演奏が始まらなかったからである。そこで、電空圧力比例弁を作動状態にし、高速オンオフ弁を閉じて、約10秒間ウォームアップして演奏すること、

説明書

演奏を曲の始めからスタートする事ができた。また休符の時、確実に音をださないこともできる。さらに、高速オンオフ弁を断続的に作動させることによって、音を短く切って演奏する、スタッカートができる。

マウスの部分は透明のビニールチューブを1mmの薄いゴム板に接着して、製作した。ゴム板の中央を唇の形に切り、そこからフルートのマウスピースに空気を送る。

シリンダの押し出し側には、スピードコントローラが各々に設置されて、速度が制御される。マニフォールドに消音マフラーを設置することによって、シリンダの排出音を低減することができた。シリンダの先端および戻し側にはそれぞれ厚さ10mmのゴムの円筒を付けて、シリンダがキィを押さえるときとシリンダが戻るときの接触音を小さくした。

3. 演奏曲目

比較的簡単で、アメリカ民謡として有名な“聖者の行進”、フルートのレッスン曲としてポピュラーな“エーデルワイス”、“コンドルは飛んで行く”、“四季の歌”、“マイウエイ”、ニューミュージック系の“いとしのエリー”、ビートルズナンバーの“ヘイジュード”を演奏することにした。

4. 制御のプログラム

プログラム言語として、C言語を用いた。

4分音符を24カウントとすると、8分音符、16分音符はそれぞれ12カウント、6カウントとなる。ピッチに関しては、耳で判断して電空圧力比例弁に供給する電圧の値を決めていたが、チューナ(KORG Auto Chromatic Tuner, AT-2)を用い、各音に最適な音を送られるように、電空圧力比例弁に送る電圧を決めた。

フィンガーチャート(音階によってキィを押さえるところを示した図)の一例を図3に示す。各音階はC言語のdefine文で定義した。

サンプリング周波数は曲によって30Hzまたは50Hzで行った。サンプリング周波数30Hzの場合、4分音符1個にかかる1分間当たりの回数は75回となる。同様に50Hzでは1分間当たり125回となる。

5. 演奏結果および考察

フルートにゴムのマウス部を接触させて、雑音の少ない、良い音がでる位置を見つけ、その状態で演奏した。ピストンの先端に付けたキィを押さえる部分がフルートに接触する時に、多少動くが、一度セットすれば曲の途中でセットし直さなくても演奏できた。

電空圧力比例弁および高速オンオフ弁への供給圧力は1 [Kgf/cm²] ([98.1kPa])とし、エアシリ

シリンダへの供給圧力は $2 \text{ [Kg f / cm}^2\text{]}$ ($[196.1 \text{ kPa}]$) とした。

一般に、長い音符、例えば、二分音符、全音符などは、音符の長さ通りに演奏するよりも、短めに演奏する方が聞きやすと言われているが、このことを考慮して実際の音符の長さより短く演奏した。こうすることによって、聞き易い曲にする事ができた。

エアシリンダの押し出し側には、それぞれスピードコントローラがついている。スピードコントローラを絞るほど、ピストンがゆっくり動き、キィを押さえる速度が遅くなる。

またキィを離すときに、ピストンが戻る速度が速いと、ピストンとシリンダがぶつかる音が大きくなる。そこで、キィを押さえるとき、ピストンが速く確実に作動し、キィを離して、ピストンを戻すときに、シリンダにぶつかる音が小さくなるような絞りを見つけた。

キィを断続的にオンオフさせるトリルについては、1秒当たり約6.6回シリンダを作動させ、キィを離したり、押さえたりして、トリルを試みた。かなり、きれいな断続音を確認できた。

タンギングは瞬間的に(ステップ的)に空気を送る奏法で、人が吹く場合には舌を急に引っ込めて吹くが、自動演奏では、短い休符を入れる為に高速オンオフ弁を短時間閉じ、かつ、強めに空気圧を送ることにした。

オンオフ弁の応答性を調べた結果を図4に示す。

電空圧力比例弁への供給電圧は 0.5 [V] で、1秒間づつ高速オンオフ弁の開閉を繰り返し、Fを演奏した。弁が開き、音がでるまでの時間は約 0.5 秒で弁が閉じてから音が消える迄の時間は約 0.2 秒である。高速オンオフ弁からマウス迄の距離は約 18 [cm] である。

ビブラートは電空圧力比例弁に正弦波を与えて、実現した。図5に示すように、周期が1秒では電空圧力比例弁の応答と音の出力波形とがかなり良い追従を示しているが、1周期が 0.4 秒の場合は追従遅れが生じている。

シリンダによつて或音階の音を出すために、キィを押さえて、電空圧力比例弁の電圧を少しずつ増していき、マイクロフォンで取り込んだ音の波形をFFT(高速フーリエ変換器)によって周波数分析した。測定した結果と正しい周波数とを比較した結果を表1に示す。人が演奏する場合、チューナのメータが正しい音よりも高い場合には、フルートの管長を長くしたり、マウスの位置を変えて正しい音のレベルが得られるまで試行錯誤しながら、調整する。

正しい周波数と測定された周波数の差は最大プラス1.5%である。

最適な音の高さをだすためには、高音のレでは、 0.28 [V] を電空圧力比例弁に与える、そのときの圧力は $0.11 \text{ [Kg f / cm}^2\text{]}$ ($[1.1 \text{ kPa}]$)、また低音のラでは 0.20 [V] を電空圧力比例弁に与える。そのときの圧力は $0.003 \text{ [Kg f / cm}^2\text{]}$ ($[294.2 \text{ Pa}]$) である。

説明書

a))であった。流量は約20 [l / min.]である。音階をチューナで確かめたところ音のズレの程度は半音の1/10以内であった。

しかし、曲の演奏中に音階が変わる時に、或音階で一定の電圧を電空圧力比例弁に与えていたのでは音が裏がえつたり、音の調子が外れることがある。例えば音階が大きく下がるような場合に、前の音階の終わりに近い部分から電空圧力比例弁への供給電圧を少しずつ下げていき、次の音階は高めの値から少しずつ下げて定常の電圧に持つていくような工夫が必要である。この作業は人の感によって行っている。

マウスピースに送られる圧縮空気はエアドライヤを通じた空気である。演奏の時、人が送る空気には水分が含まれているが、自動演奏では、乾燥空気を送るので殆ど水分は含まれていない。

人間には音を聞きながら、送る空気圧を変えたり、マウスピースとマウスの位置をリアルタイムで変えることができるが、この自動演奏ではできない。今後、音のセンサを用いて、フィードバック制御を可能にしていきたい。

6. 結言

フルートの自動演奏に関して、雑音が少しあるが、曲らしく演奏することができた。フルートとマウスとの位置関係、マウスの形状をさらに追求すれば雑音が減り、人間の

演奏に近い、きれいな曲が演奏できると考える。さらに、エアシリンダの押し出し、戻り時の騒音をもっと小さくし、かつキの応答が遅くならないようにするには、ピストンの速度を電空圧力比例弁によって制御する必要がある。フルート演奏における不安定要素をさらに、追求して、音楽性をより高めていきたい。

本研究は東洋大学学生 前川孝史君の熱心な協力によって実現したことを感謝致します。

最後に、本研究は平成7年度サウンド技術振興財団の助成を受けました。関係各位に感謝致します。また機材を供与された株式会社コガネイ、株式会社CKDに感謝致します。さらに、ご助言を賜った株式会社コガネイの澤田謙氏、関口泰治氏、マラマツフルート製作所研究部長の青木宏氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 川中・花田, フルートの自動演奏に関する研究, 平成5年秋季油空圧講演論文集, pp 89-92, 1993
- 2) 川中・花田, フルートの自動演奏, 油空圧技術, Vol. 33, No. 13 pp 79-81, 1994
- 3) Hirokazu Kawanaka, Keiichi Hanada, "Playing The Flute Automatically, The 4th Triennial Inter-

説 明 書

n a t i o n a l S y m p o s i u m o n
F l u i d C o n t r o l F l u i d ,
M e a s u r e m e n t a n d V i s u a l i z a -
t i o n V o l . 2 , p p 9 1 5 - 9 1 8 , 1 9 9 4
4) H i r o k a z u K a w a n a k a ,
K e i i c h i H a n a d a , " P l a y i n g
T h e F l u t e A u t o m a t i c a l l y ,
2 n d J A P A N - F R A N C E C O N G R E S S
o n M E C H A T R O N I C S , V o l . 2 , p p 4
1 2 - 4 1 5 , 1 9 9 4
5) 植村泰一訳・解説, アルテス・フルート奏法、シンフ
ォニア, p p 3 9 - 4 4 , 1 9 8 9

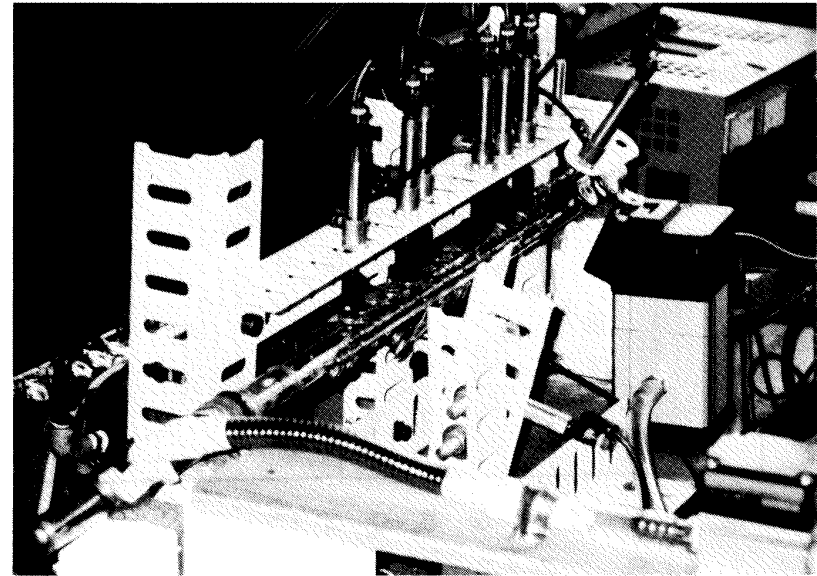
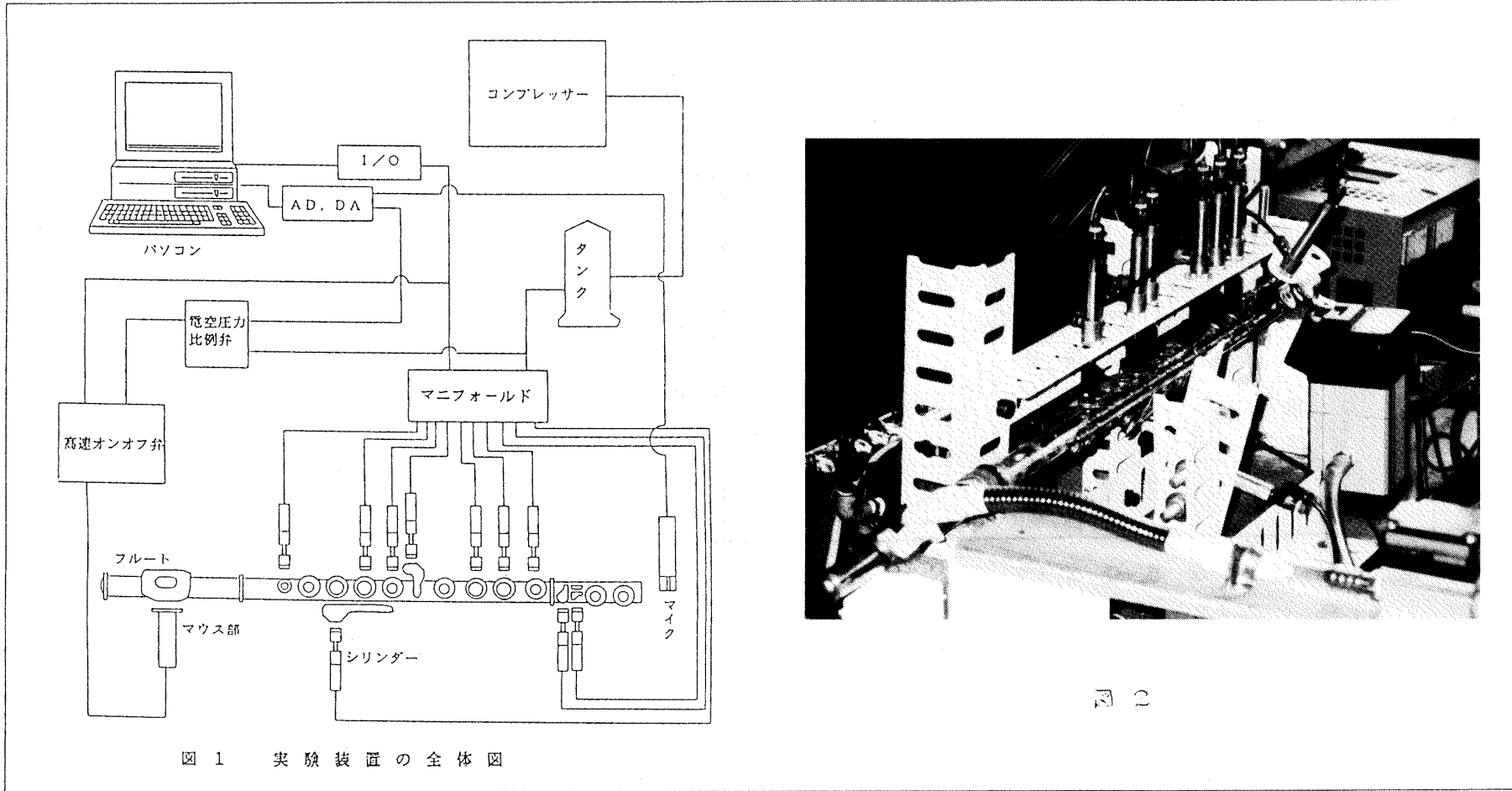
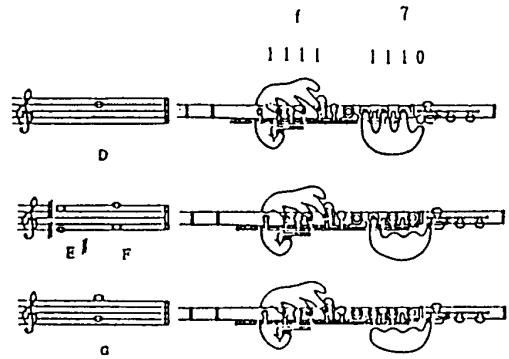


図 2

(注： フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

様式-10



#define D	0x7f	低	レ
#define DI	0xff	低	レ#
#define E	0xbf	低・高	ミ
#define F	0x9f	低・高	ファ
#define FI	0xcf	低・高	ファ#
#define G	0x8f	低・高	ソ
#define A	0x87	低・高	ラ
#define AI	0x93	低・高	ラ#
#define B	0x83	低・高	シ
#define C	0x82	高	ト
#define CI	0x80	高	ト#
#define DT	0x7d	高	レ
#define DTI	0xfd	高	レ#
#define Z	0x00		休符

図 3 フィンガチャート

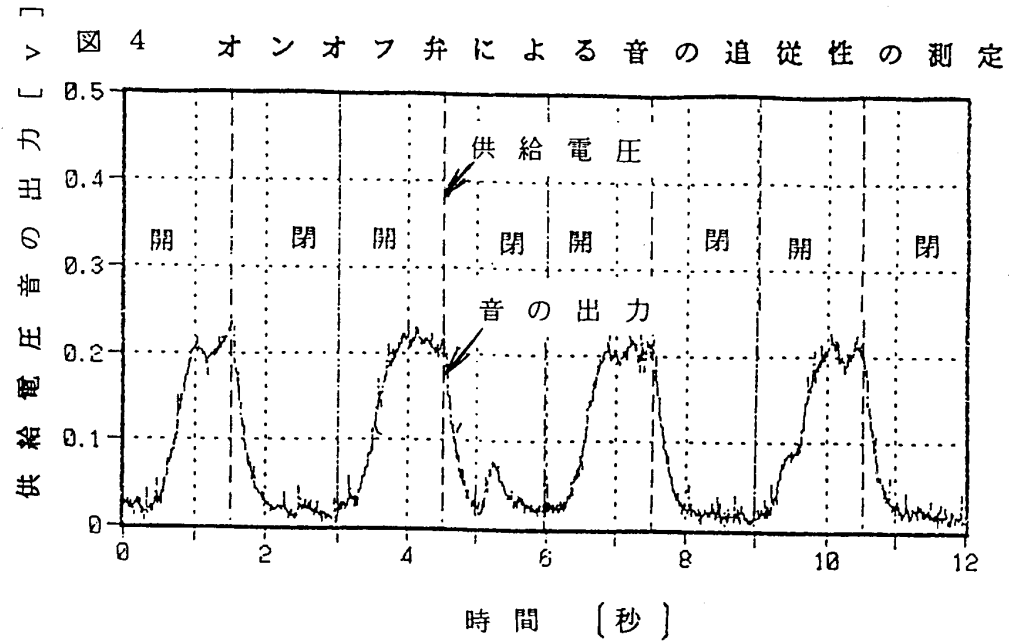
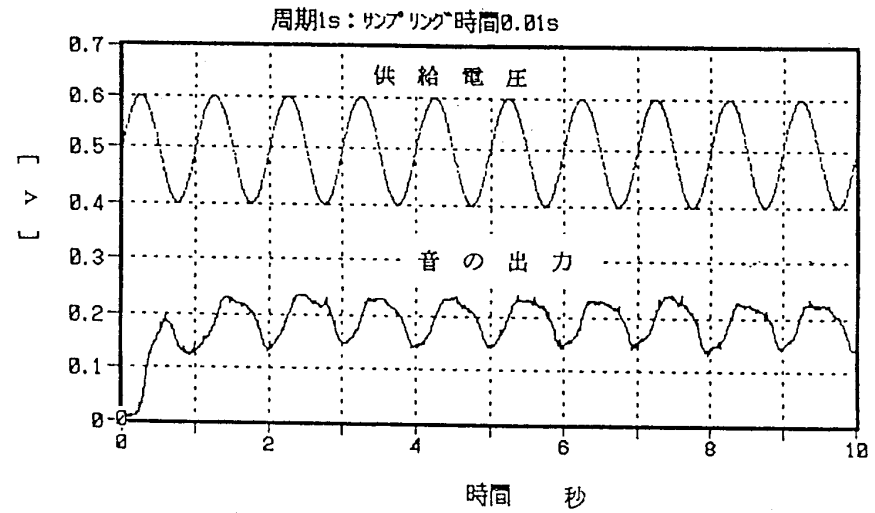
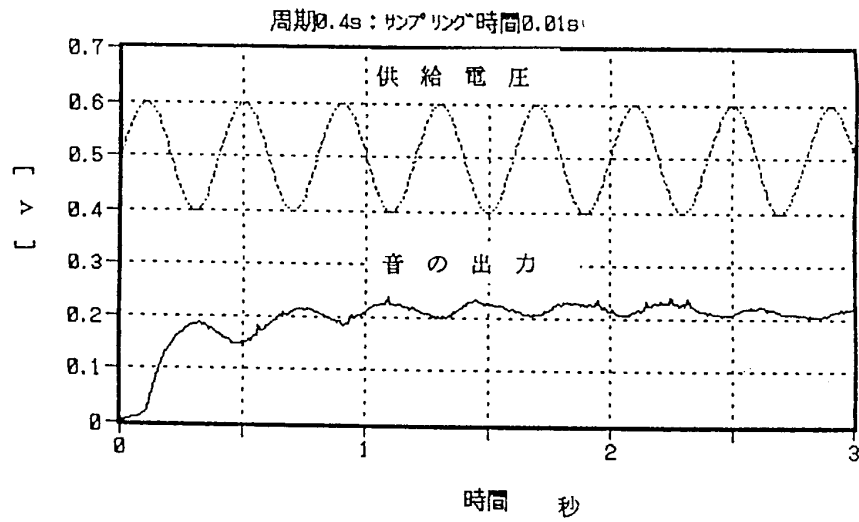


図 5 ビブレードの測定



(注： フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

表1 周波数の測定

音階	正しい周波数 (Hz)	測定された周波数 (Hz)
レ	293.7	297.5
ミ	329.6	332.5
ファ	349.2	352.5
ソ	392.0	395.0
ラ	440.0	440.0
シ	493.9	495.0
ド	523.3	525.0

(注： フローチャート図，ブロック図，構成図，写真，データ表，グラフ等 研究内容の補足説明に御使用下さい)

様式-10