

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5439118号
(P5439118)

(45) 発行日 平成26年3月12日 (2014. 3. 12)

(24) 登録日 平成25年12月20日 (2013. 12. 20)

(51) Int. Cl.

F I

G 1 O K 11/178 (2006. 01)
B 6 O R 11/02 (2006. 01)G 1 O K 11/16 H
B 6 O R 11/02 B

請求項の数 4 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2009-251073 (P2009-251073)
 (22) 出願日 平成21年10月30日 (2009. 10. 30)
 (65) 公開番号 特開2010-140018 (P2010-140018A)
 (43) 公開日 平成22年6月24日 (2010. 6. 24)
 審査請求日 平成24年3月9日 (2012. 3. 9)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-292246 (P2008-292246)
 (32) 優先日 平成20年11月14日 (2008. 11. 14)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000005821
 パナソニック株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 110001276
 特許業務法人 小笠原特許事務所
 (74) 代理人 100142251
 弁理士 桑原 薫
 (74) 代理人 100151541
 弁理士 高田 猛二
 (72) 発明者 狩野 裕之
 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
 ソニック株式会社内

審査官 渡邊 正宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 騒音制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

騒音源から出力される騒音が騒音伝達系を介して伝達され、前記伝達された騒音を制御点において制御音と合成させて、当該騒音を低減する騒音制御装置であって、

前記騒音源から出力される騒音を検出して、当該騒音に基づく制御信号を生成する信号処理部と、

前記信号処理部から出力される制御信号に基づいて、前記騒音を打ち消す制御音を生成する制御音響系と、

前記騒音源から騒音出力されてから前記信号処理部および前記制御音響系を介して前記制御点に前記制御音が到達するまでの騒音制御処理時間 が、前記騒音源から騒音出力されてから前記騒音伝達系を介して前記制御点に前記騒音が到達するまでの騒音伝達時間 T より大きくなる ($> T$) 周波数帯域において、前記信号処理部から出力される制御信号を補正する出力補正部とを備え、

前記出力補正部は、

前記信号処理部から出力された制御信号が入力される加算器と、

前記加算器から出力される信号のうち、前記周波数帯域における信号を抽出するフィルタ回路と、

前記フィルタ回路によって抽出された信号をレベル調整するゲイン調整器とを備え、

前記騒音伝達系を介して前記制御点に到達する騒音が有する騒音伝達特性と、前記制御音響系から出力される制御音が有する騒音制御伝達特性とが、同一振幅かつ逆位相とな

10

20

るように、前記信号処理部から出力される制御信号を補正し、

前記信号処理部から出力される制御信号に、前記ゲイン調整器によってレベル調整された信号を、前記加算器によって加算して、当該加算した制御信号を前記制御音響系に出力することを特徴とする、騒音制御装置。

【請求項 2】

前記加算器、前記フィルタ回路、および前記ゲイン調整器は、1つの帰還系を構成し、前記出力補正部は複数の前記帰還系を備え、前記複数の帰還系は直列接続されることを特徴とする、請求項 1 に記載の騒音制御装置。

【請求項 3】

前記制御点において、前記騒音伝達系を介して伝達される騒音と、前記制御音響系から出力される制御音とが合成された信号を誤差信号として前記信号処理部に入力させ、

前記信号処理部は、

前記騒音源から出力される騒音を検出して、当該検出された信号を参照信号とし、

前記誤差信号のレベルを最小にするように、前記参照信号と誤差信号とに基づいて、前記制御信号を生成することを特徴とする、請求項 1 に記載の騒音制御装置。

【請求項 4】

騒音源から出力される騒音が騒音伝達系を介して伝達され、前記伝達された騒音を制御点において制御音と合成させて、当該騒音を低減する騒音制御装置であって、

前記騒音源から出力される騒音を検出して、当該騒音に係数処理を施すことで制御信号を生成する F I R (F i n i t e I m p u l s e R e s p o n s e) フィルタと、

前記 F I R フィルタから出力される制御信号に基づいて、前記騒音を打ち消す制御音を生成する制御音響系とを備え、

前記 F I R フィルタは、前記騒音源から騒音出力されてから前記 F I R フィルタおよび前記制御音響系を介して前記制御点に前記制御音が到達するまでの騒音制御処理時間が、前記騒音源から騒音出力されてから前記騒音伝達系を介して前記制御点に前記騒音が到達するまでの騒音伝達時間 T より大きくなる ($> T$) 周波数帯域において、前記騒音伝達系を介して前記制御点に到達する騒音が有する騒音伝達特性と、前記制御音響系から出力される制御音が有する騒音制御伝達特性とが同一振幅かつ逆位相となるように係数を設定することで、前記制御信号を補正するフィルタであり、

前記 F I R フィルタから出力される制御信号が、

前記騒音源から出力される騒音を検出して当該騒音に基づく制御信号を生成する信号処理部と、当該信号処理部から出力された制御信号が入力される加算器と、当該加算器から出力される信号のうち前記周波数帯域における信号を抽出するフィルタ回路と、当該フィルタ回路によって抽出された信号をレベル調整するゲイン調整器とで構成され、前記騒音伝達特性と前記騒音制御伝達特性とが同一振幅かつ逆位相となるように、前記信号処理部から出力される制御信号を補正し、前記信号処理部から出力される制御信号に前記ゲイン調整器によってレベル調整された信号を前記加算器によって加算して、当該加算された制御信号を前記制御音響系に出力する、制御信号設定装置によって設定された制御信号と同等になるように、

前記係数が算出されることを特徴とする、騒音制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、騒音制御装置に関し、より特定的には、小型化あるいは低コスト化などのため、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない周波数帯域を含む場合でも、その周波数帯域での悪影響を防止しつつ、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う周波数帯域での騒音を低減させる騒音制御装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

騒音源から出力される騒音と逆位相の音を制御スピーカから再生して騒音を打ち消す、

10

20

30

40

50

所謂、能動騒音制御の考えは古くから存在している。従来からアナログのフィードバック制御（以降、F B 制御と称す）による能動騒音制御の実用化が図られ、アナログのF B 制御は現在でもヘッドホンなどで一般的に用いられている。図45は、F B 制御の騒音制御装置の基本構成を示す図である。

【0003】

アナログのF B 制御を用いた場合は、コストを比較的安く抑えることはできる。しかし、アナログのF B 制御は、複雑な制御特性を実現するのが困難であり、またF B 制御に存在する発振条件のため、安定した良好な騒音低減効果を得にくいという問題がある。またヘッドホンなどのように1次元空間におけるアナログF B 制御は、上記問題があるとしてもコスト対効果を考えれば適切な選択肢であり、事実、数多くの実用化例がある。

10

【0004】

しかし、自動車などの3次元空間において、デジタル制御でF B 制御を行う場合には、発振などの関係で、F B 制御はフィードフォワード制御（以降、F F 制御と称す）よりも処理が複雑となる。その結果、デジタル制御でF B 制御を行う実用化例は全くと言ってよいほど存在しない。また空調ダクトなどの1次元制御であったとしても、騒音変化や制御スピーカ特性やマイク特性などの経年変化を考慮し、デジタルでの適応F F 制御が主流となっている。そこで、まずF F 制御について説明する。

【0005】

図43は、F F 制御の基本構成を示す図である。

【0006】

騒音源1からの騒音が、騒音伝達系200を経て制御点4に到達するのに合わせて、信号処理部300が騒音信号を処理して制御信号を生成する。そして、信号処理部300は、制御点4において、騒音伝達系200を経て制御点4に到達する騒音に、制御信号を加える。制御点4において両者が合成された結果、騒音が低減される。つまり、信号処理部300は、騒音伝達系200を経て制御点4に到達する騒音と逆特性（同一振幅、かつ、逆位相）を有する制御信号を生成すればよい。また、図43からも明らかなように、F F 制御では、騒音伝達系200の騒音伝達時間Tと信号処理部300の処理時間とは、 $T = T$ でなければならない。ここで、図43に示したF F 制御をデジタル処理で実現する場合、信号処理部300は、通常、FIRフィルタなどのデジタルフィルタで構成される。このため、信号処理部300における処理は、必ず、デジタル遅延による時間遅れ処理となる。よって、例えばFIRフィルタの係数で遅れ時間を微調整できるため、信号処理部300の処理時間条件は、 $T = T$ であればよい。これにより、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合うこととなる。

20

30

【0007】

ところで、図43は、騒音伝達系200が変動しないことを前提にしているが、実際は変動することが多い。例えば、排気管などに応用する場合には温度による音速の変化などがあるし、自動車の走行騒音では路面や速度あるいは乗員数や乗員位置などの走行状態での騒音（伝達特性）変化が発生する。このような変化の吸収を図るために、適応F F 制御を用いる。図44は、適応F F 制御を用いた場合の騒音制御装置の基本構成を示す図である。図44に示すように、制御点4での結果が信号処理部300に誤差信号として戻され、信号処理部300は、その誤差信号を元に信号処理部300の制御特性（係数）を変化させる。

40

【0008】

ここで、図44に示した適応F F 制御を用いた場合、信号処理部300の制御特性（係数）を正確に収束させるためには、騒音源1から出力された騒音信号である参照信号（図44の信号a）と誤差信号（図44の信号b）との相関性（コヒーレンス）が重要となる。相関性が低いと正確な係数を求めることができないために、騒音低減効果が十分に得られない結果となる（例えば、特許文献1、非特許文献1）。特に特許文献1では、3次元制御を行う場合のマルチコヒーレンスについても言及しており、この場合もコヒーレンスが高いほど騒音低減効果が大きいことが示されている。

50

【 0 0 0 9 】

以上より、適応 F F 制御では、

(1) 騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う

(2) 参照信号と誤差信号との相関性が高い

ことが、騒音低減効果を最大限に得るための条件と言える。

【 0 0 1 0 】

ところで、騒音制御処理を騒音伝達時間内に間に合わせるためには、図 4 3 や図 4 4 における信号処理部 3 0 0 の処理時間 を騒音伝達時間 T よりも短くする必要があるが、コストなどの問題で必ずしも満たせるとは限らない。例えば、デジタル制御で処理時間 を短くする方法としてはサンプリング周波数を高くすることがまず考えられるが、この場合、逆に信号処理に使用できる時間余裕が短くなり（処理時間余裕はサンプリング周波数の逆数で与えられるため）、演算量が十分確保できないなどの問題が発生する。そのため、信号処理部 3 0 0 内の制御フィルタタップ数を短くしたり、3 次元制御の場合は騒音処理数（＝制御フィルタ数）を少なくして、全体の演算量を処理時間内に抑えられるように削減する必要がある。すると、タップ数不足で低域の騒音低減効果が得られなかったり、騒音処理数不足でマルチコヒーレンスが低下して騒音低減効果が十分に得られなかったりする。

【 0 0 1 1 】

逆に、演算に要する時間を確保するためにサンプリング周波数を低くすると信号処理部 3 0 0 の処理時間 が大きくなり、騒音制御処理を騒音伝達時間内に間に合わせるためには騒音伝達時間 T をその分大きくする必要がある。このことは通常、騒音源 1 から制御点 4 の距離を長くすることを意味する。すると、騒音制御システム全体が大きくなり、あるいはヘッドホンや掃除機など小型の製品に、このような騒音制御システムを適用できなくなるなどの問題が発生する。また、騒音源 1 から制御点 4 の距離が長くなると、参照信号と誤差信号との相関性が低くなることが多いのが現状である。例えば、排気用ダクトの場合、ダクト内を騒音源であるファン騒音などが伝達するが、排気も一緒に流体として通過している。そのため、騒音源 1 から制御点 4 の間で乱流などを発生して相関度を低下させるので、騒音源 1 から制御点 4 の距離が長くなるほど乱流が発生しやすく相関性が低くなる。また、他の例では、自動車や列車などの走行騒音では、エンジンやモーター以外に、ロードノイズや風切り音、周囲の車など、多数の騒音が車内に進入してくる。そのため、確実に全ての騒音をその発生位置である騒音源で、参照信号としての騒音信号を検出することは困難である。その結果、騒音伝達系の途中で、騒音信号を検出することになる。その場合、騒音信号を検出する位置が制御点 4 に近くなるほど、参照信号と誤差信号との相関性が高くなる。つまり換言すれば、騒音源 1 から制御点 4 の距離が長くなると、相関性は低くなる。

【 0 0 1 2 】

このように通常の騒音環境では、騒音制御処理時間を短くすることと、参照信号と誤差信号との相関性を高くすることとは、相反する関係にある。よって、従来は、この両者のバランスを取って実用化してきたのが現状である。

【 0 0 1 3 】

ここで、騒音制御処理を騒音伝達時間内に間に合わせることができない場合の影響について、さらに詳しく説明する。

【 0 0 1 4 】

図 4 6 は図 4 3 あるいは図 4 4 における信号処理部 3 0 0 が、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合の制御係数と騒音低減効果とを示している。（ 1 ）が信号処理部 3 0 0 の制御係数（例えば 2 0 4 8 タップの F I R フィルタとする）のインパルス特性であり、（ 2 ）上が制御前の騒音特性（制御 O F F ）と制御後の騒音特性（制御 O N ）とを示し、（ 2 ）下が制御 O F F - O N の差分特性、すなわち騒音低減効果量を示している。図 4 6 では騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っているので、制御係数ではインパルスピークが係数タップ内にきれいに表現されており、騒音低減効果も全ての周波数で 6 0 d

10

20

30

40

50

B 程度得られている。

【 0 0 1 5 】

これに対して図 4 7 は図 4 3 あるいは図 4 4 における信号処理部 3 0 0 が、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合の制御係数と騒音低減効果とを示している。(1) のインパルス特性ではインパルスピークが係数タップ内に収まらず、0 タップより前に出てしまっている。つまり、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていないことを制御係数として表している。また(2) の騒音低減効果も全ての周波数で全く低減されていない。このように、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合は、騒音低減効果が得られないという問題が発生する。ここで図 4 7 では、全周波数で騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない条件を示したが、実際には、ある周波数帯域だけが間に合わない場合が多い。これについて、以下に示す。

10

【 0 0 1 6 】

図 4 8 は、図 4 3 をアナログ混在の実際例に近い構成として再記述したものである。図 4 8 において、信号処理部 3 0 0 の前後に A D (アナログ - デジタル) コンバータ 5 と D A (デジタル - アナログ) コンバータ 6、そしてアンチエイリアス用のアナログ L P F (ローパスフィルタ) 7 ~ 8 を追加している。ここで、A D コンバータ 5 の遅延 (全周波数同一値とする) を 1、D A コンバータ 6 の遅延 (全周波数同一値とする) を 2、L P F 7 ~ 8 の遅延 (最大群遅延) を 3 とすると、騒音制御処理を騒音伝達時間内に間に合わせるためには、

$$+ 1 + 2 + 2 \times 3 \quad T$$

20

であることが必要である。ここで、図 4 9 は、図 4 8 のアナログ L P F の特性を示す図である。L P F 7 ~ 8 が図 4 9 に示す特性である場合、最大群遅延 3 は 1 0 k H z 付近で 3 0 サンプル (サンプリグ周波数を 4 8 k H z とすると、 $30 / 48000 = 0.625 \text{ m s e c}$) 以上になっている。、 1、 2 は全ての周波数で同じ値なので、L P F 7 ~ 8 の最大群遅延 3 に相当する周波数 1 0 k H z 付近で騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合うかどうか制御のポイントとなる。

【 0 0 1 7 】

図 5 0 は、図 4 9 において騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない場合の (1) 制御係数と (2) 騒音低減効果とを示している。図 5 0 (2) から分かるように、低域では 2 0 ~ 3 0 d B 以上の騒音低減量が得られているが、高域になるに従って効果が劣化していき、L P F 7 ~ 8 の最大群遅延 3 に相当する周波数 1 0 k H z 付近では逆に騒音増加になっている。図 5 0 (1) でも係数インパルスピークが係数タップ内に収まっていない。

30

【 0 0 1 8 】

参考までに、図 4 9 において騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合の (1) 制御係数と (2) 騒音低減効果とを図 5 1 に示す。図 5 1 (2) 騒音低減効果を見ると、1 0 k H z 以上で騒音低減量は少なくなっているが、図 5 0 (2) のように騒音増加することはない。図 5 1 (1) 制御係数でも係数インパルスピークは係数タップ内に収まっており、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っている。図 5 1 (2) において、1 0 k H z 以上で騒音低減量が少なくなっているのは、図 4 9 (1) に示すように L P F 7 ~ 8 のレベルが急激に低減しているためである。その影響を信号処理部 3 0 0 が受けるため 1 0 k H z 以上で騒音低減量が少なくなっているだけであり、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていれば、騒音増加することなく、騒音を低減することができる。

40

【 0 0 1 9 】

以上は、騒音制御処理時間の影響によって、高域での騒音低減量の劣化および騒音増加について説明したが、低域でも同様に騒音低減量の劣化および騒音増加が起こり得る。低域において、騒音制御処理の大きな遅延要素は制御スピーカの群遅延である。図 5 2 は一般的なスピーカの特性を示している。当該スピーカの共振周波数 f_0 は約 1 5 0 H z であり、図 5 2 (3) 群遅延特性を見ると、当該スピーカは、共振周波数 f_0 で 2 m s e c の群遅延がある。当該スピーカは、共振周波数 f_0 以下ではさらに群遅延が大きくなるが、

50

共振周波数 f_0 以上では群遅延が小さくなる。

【0020】

スピーカ特性をH P F（ハイパスフィルタ）で置き換えて、高域での騒音低減量の劣化および騒音増加について説明したのと同様に、低域での騒音低減量の劣化および騒音増加について説明する。図53は、図43の信号処理部の出力にH P Fを追加挿入した図である。図54は、図53の1次H P F 9～10の振幅特性と群遅延特性とを示す図である。ここで、図52（1）から、スピーカは -12 dB/oct. で低域レベルが下降しているので、同じカットオフ周波数 $f_c = 150 \text{ Hz}$ で遮断特性 -6 dB/oct. の1次H P Fを2段構成とすることで近似している。図54（2）に示すように、1次H P F 9～10の 150 Hz での群遅延は、それぞれ25サンプル（ $25 / 48000 = 0.521 \text{ msec}$ ）であるため、1次H P F 9～10の2段構成での群遅延は、約 1 msec となる。図54の1次H P F 9～10は、図52のスピーカよりも群遅延は少ないものの、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない場合には、図55（2）に示すように低域になればなるほど騒音低減効果が劣化し、 100 Hz 以下では騒音増加になってしまう。つまり、高域での騒音低減効果が劣化および騒音増加と同様のことが、スピーカの群遅延により低域でも発生する。参考までに、図53において騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合の（1）制御係数と（2）騒音低減効果とを図56に示す。高域の場合と同様に、図56（2）騒音低減効果を見ると、低域になればなるほど騒音低減量は少なくなっているものの、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていれば、図55（2）のように騒音増加することはない。

【0021】

以上のように、群遅延が小さく、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っている周波数帯域では騒音低減効果が得られるが、群遅延が大きく、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない周波数帯域が存在する場合は、その周波数帯域では騒音増加が発生することが分かる。

【0022】

ところで、ある周波数帯域では騒音低減効果があるが、別の周波数帯域では騒音増加が起こってしまうなどの現象は、先に説明した群遅延の問題のように、騒音制御を実用化するにはよく直面する問題である。このようなある周波数帯域での不具合を防止する方法が従来提案されている（例えば、特許文献2）。この方法は、騒音制御を行う適応フィルタにおいて、問題となる（騒音増加する）周波数帯域の係数ゲインの上昇を抑えることで、問題発生を防止しようとするものである。

【0023】

以下、従来する方法について説明する。図57は、特許文献2に記載の基本構成を示す図である。図57に示す騒音制御装置では、片端に開口部を有する容器102内に騒音源101があり、騒音源101から開口部に向かって、順に、騒音検出マイク103、消音用スピーカ105、および消音誤差検出マイク104が設置されている。図57に示す騒音制御装置では、適応型デジタルフィルタを用いた制御回路が設けられている。当該適応型デジタルフィルタは、主適応型デジタルフィルタ部と、補助適応型デジタルフィルタ部とから構成されている。主適応型デジタルフィルタ部は、FIRデジタルフィルタ106と、LMS（Least - Mean - Square）アルゴリズムにより制御される係数制御部108とから構成されており、補助適応型デジタルフィルタ部は、FIRデジタルフィルタ110と、LMSアルゴリズムにより制御される係数制御部111とから構成されている。なお、2つのFIRデジタルフィルタ106および110は、係数列 $h_a(i)$ を共有している。さらに、FIRデジタルフィルタ110の信号入力部にはフィルタ109が接続され、係数制御部108にはデジタルフィルタ107が接続されて構成されている。

【0024】

当該騒音制御装置では、騒音検出マイク103で検出された騒音は、プリアンプ112を介してA/D変換器115でデジタル信号に変換されて、騒音信号 $u(n)$ が生成され

る。そして、騒音信号 $u(n)$ がデジタルフィルタ 107、109、および FIR デジタルフィルタ 106 に入力される。FIR デジタルフィルタ 106 では所定の係数列 $h_a(i)$ に基づいて、制御係数を算出し、消音信号 $y(n)$ を生成する。消音信号 $y(n)$ は、D/A 変換器 116 によってアナログ信号に変換され、パワーアンプ 113 を介して、消音用スピーカ 105 に入力される。そして、騒音源 101 から出力される音波と消音用スピーカ 105 から出力される音波とが干渉を起こすことにより騒音源 101 からの騒音が消される。この消音結果は消音誤差検出マイク 104 で検出され、プリアンプ 114、および A/D 変換器 117 を介して誤差信号 $e_0(n)$ として出力され係数制御部 108 に入力される。係数制御部 108 では、入力された誤差信号 $e_0(n)$ が最小となるように、係数列 $h_a(i)$ が更新制御される。ここで、デジタルフィルタ 107 は、騒音信号 $u(n)$ を補正することによって、係数制御をより正確に行うために挿入しているものである。

10

【0025】

一方、デジタルフィルタ 109 では、騒音信号 $u(n)$ が入力され、出力信号 $u_1(n)$ を出力する。なお、デジタルフィルタ 109 は、制御不可能な高周波の音を出力しないという周波数特性上の制約を消音信号 $y(n)$ に持たせるような高域通過型の周波数特性を有している。そして、デジタルフィルタ 109 から出力される出力信号 $u_1(n)$ は、FIR デジタルフィルタ 110 に入力される。FIR デジタルフィルタ 110 では所定の係数列 $h_a(i)$ に基づいて、制御係数を算出し、誤差信号 $e_1(n)$ を生成する。係数制御部 111 は、デジタルフィルタ 109 から出力される出力信号 $u_1(n)$ と、誤差信号 $e_1(n)$ とに基づいて、係数列 $h_a(i)$ を更新する。換言すれば、係数列 $h_a(i)$ は、FIR デジタルフィルタ 110 に、デジタルフィルタ 109 を通過するような高周波信号が入力されると、当該信号を 0 にするように更新制御される。

20

【0026】

このように、図 57 に示す騒音制御装置では、邪魔になる高周波信号は切り捨てられ、安定に適応動作制御可能な周波数帯域において、適応型デジタルフィルタによる消音制御が行われていた。

【0027】

しかしながら、図 57 に示す騒音制御装置では、騒音制御を行う適応フィルタを用いて、問題となる（騒音増加する）周波数帯域の係数ゲインの上昇を抑えることによって、問題発生を防止しようとしているものの、その処理が騒音伝達時間内に間に合うことを前提としているため、図 43～図 56 を用いて説明したように、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない周波数帯域が存在する場合は、その周波数帯域では騒音増加の発生が防止できない。

30

【0028】

また、騒音制御装置の構成や条件（サンプリング周波数やタップ数など）が決まれば、装置全体に要する処理時間が決まるが、従来の方法では、その総処理時間（例えば図 43 の時間）で騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合うようにするには、騒音源から制御点までの距離を長くする（例えば図 43 の騒音伝達系の騒音伝達時間 T を大きくする）しか方法がなかった。その場合、先に説明したように、騒音制御システム全体が大きくなり、製品サイズの長大化やあるいは想定していた製品サイズに収められないために実用化できないなどの問題が起こる。また、騒音源から制御点までの距離が長くなることで、例えば図 44 の場合、信号処理部 300 の参照信号 a と誤差信号 b との相関性が低下し、信号処理部 300 の係数が十分に求まらないため、期待する騒音低減効果が得られない問題も起こる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0029】

【特許文献 1】特開平 5 - 52645 号公報

【特許文献 2】特開平 5 - 67948 号公報

50

【非特許文献】

【0030】

【非特許文献1】アクティブ コントロール オブ サウンド (ACTIVE CONTROL OF SOUND) (ピー・エー・ネルソン アンド エス・ジェイ・エリオット, アカデミック プレス (P. A. Nelson & S. J. Elliott, ACADEMIC PRESS), P177)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0031】

それ故に、本発明の目的は、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない周波数帯域における騒音増加を抑止しつつ、かつ、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っている周波数帯域においては騒音を低減させることができる騒音制御装置を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0032】

本発明は、上記課題を解決するための騒音制御装置に向けられており、本発明に係る騒音制御装置は、騒音源から出力される騒音が騒音伝達系を介して伝達され、伝達された騒音を制御点において制御音と合成させて、当該騒音を低減する騒音制御装置であって、騒音源から出力される騒音を検出して、当該騒音に基づく制御信号を生成する信号処理部と、信号処理部から出力される制御信号に基づいて、騒音を打ち消す制御音を生成する制御音響系と、騒音源から騒音出力されてから信号処理部および制御音響系を介して制御点に制御音が到達するまでの騒音制御処理時間 T が、騒音源から騒音出力されてから騒音伝達系を介して騒音が制御点に到達するまでの騒音伝達時間 T より大きくなる ($> T$) 周波数帯域において、信号処理部から出力される制御信号を補正する出力補正部とを備える。

20

【0033】

好ましい出力補正部は、騒音伝達系を介して制御点に到達する騒音が有する騒音伝達特性と、制御音響系から出力される制御音が有する騒音制御伝達特性とが同一振幅かつ逆位相となるように、信号処理部から出力される制御信号を補正することを特徴とする。

【0034】

30

また、好ましい出力補正部は、信号処理部から出力された制御信号が入力される加算器と、加算器から出力される信号のうち、周波数帯域における信号を抽出するフィルタ回路と、フィルタ回路によって抽出された信号をレベル調整するゲイン調整器とを備え、加算器は、入力される信号処理部から出力された制御信号に、ゲイン調整器によってレベル調整された信号を加算して、当該補正された制御信号を制御音響系に出力することを特徴とする。

【0035】

さらに、好ましくは、加算器、フィルタ回路、およびゲイン調整器は、1つの帰還系を構成し、出力補正部は複数の帰還系を備え、複数の帰還系は直列接続されることを特徴とする。

40

【0036】

また、好ましくは、制御点において、騒音伝達系を介して伝達される騒音と、制御音響系から出力される制御音とが合成された信号を誤差信号として信号処理部に入力させ、信号処理部は、騒音源から出力される騒音を検出して、当該検出された信号を参照信号とし、誤差信号のレベルを最小にするように、参照信号と誤差信号とに基づいて、制御信号を生成することを特徴とする。

【0037】

また、本発明の騒音制御装置は、騒音源から出力される騒音が騒音伝達系を介して伝達され、伝達された騒音を制御点において制御音と合成させて、当該騒音を低減する騒音制御装置であって、騒音源から出力される騒音を検出して、当該騒音に基づく制御信号を生

50

成するFIR(Finite Impulse Response)フィルタと、FIRフィルタから出力される制御信号に基づいて、騒音を打ち消す制御音を生成する制御音響系とを備え、FIRフィルタは、騒音源から騒音出力されてから信号処理部および制御音響系を介して制御点に制御音が到達するまでの騒音制御処理時間が、騒音源から騒音出力されてから騒音伝達系を介して騒音が制御点に到達するまでの騒音伝達時間Tより大きくなる($> T$)周波数帯域において、騒音伝達系を介して制御点に到達する騒音が有する騒音伝達特性と、制御音響系から出力される制御音が有する騒音制御伝達特性とが同一振幅かつ逆位相となるように、制御信号を補正する。つまり、FIRフィルタは、上述した信号処理部と出力補正部とを合わせた特性を近似した特性である。

【発明の効果】

10

【0038】

上述のように、本発明によれば、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない周波数帯域における騒音増加を抑止しつつ、かつ、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っている周波数帯域においては騒音を低減させることが可能な騒音制御装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】第1の実施形態に係る騒音制御装置の回路構成を示す図

【図2】図1に示した制御音響系400のHPF401の特性を示す図

【図3】図1に示した出力補正部500を動作させないときの制御点4での騒音低減効果を示す図

20

【図4】図1に示した出力補正部500のLPF501の特性を示す図

【図5】図1に示した出力補正部500(図4の特性)を動作させたときの制御点4での騒音低減効果を示す図

【図6】図1に示した出力補正部500と制御音響系400とを削除した騒音制御装置を示す図

【図7】図6に示した騒音制御装置の点X～点Yの伝達特性を示す図

【図8】図1に示した出力補正部500を動作させなかった場合の点X～点Yの伝達特性を示す図

【図9】図1に示した出力補正部500(図4の特性)を動作させた場合の点X～点Yの伝達特性を示す図

30

【図10】図1に示した出力補正部500のLPF501の他の特性を示す図

【図11】図1に示した出力補正部500(図10の特性)を動作させたときの制御点4での騒音低減効果を示す図

【図12】図1に示した出力補正部500(図10の特性)を動作させた場合の点X～点Yの伝達特性を示す図

【図13】図1に示したHPF401に共振周波数 $f_c = 1\text{kHz}$ の2次HPFを適用したときの騒音低減効果を示す図

【図14】図1に示した出力補正部500において、LPF501に共振周波数 $f_c = 600\text{Hz}$ の2次LPFを適用して正帰還させたときの騒音低減効果を示す図

40

【図15】図1に示したHPF401に共振周波数 $f_c = 10\text{kHz}$ の2次HPFを適用したときの騒音低減効果を示す図

【図16】図1に示した出力補正部500において、LPF501に共振周波数 $f_c = 6\text{kHz}$ の2次LPFを適用して正帰還させたときの騒音低減効果を示す図

【図17】制御音響系に実際のスピーカを用いた場合の騒音制御装置の全体構成を示す図

【図18】図17に示した騒音制御装置を信号処理ブロック図として模式的に示す図

【図19】図17および図18に示したエラーマイク4003における騒音低減効果を示す図

【図20】図17および図18に示したエラーマイク4004における騒音低減効果を示す図

50

【図 2 1】図 1 に示した出力補正部 5 0 0 において、L P F 5 0 1 に共振周波数 $f_c = 60 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用して負帰還させたときの騒音低減効果を示す図

【図 2 2】図 1 に示した出力補正部 5 0 0 において、L P F 5 0 1 に共振周波数 $f_c = 600 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用して負帰還したときの騒音低減効果を示す図

【図 2 3】図 1 に示した出力補正部 5 0 0 において、L P F 5 0 1 に共振周波数 $f_c = 6 \text{ kHz}$ の 1 次 L P F を適用して負帰還したときの騒音低減効果を示す図

【図 2 4】図 1 の信号処理部 3 0 0 と出力補正部 5 0 0 との特性を合成し、当該合成された特性を係数として F I R フィルタ 6 0 0 に設定した構成を示す図

【図 2 5】図 3 に示した騒音低減効果を得る場合の信号処理部 3 0 0 の特性を示す図

【図 2 6】図 1 に示した出力補正部 5 0 0 の L P F 5 0 1 の他の特性を示す図

10

【図 2 7】図 1 に示した出力補正部 5 0 0 (図 2 6 の特性) を動作させたときの制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 2 8】図 2 4 に示した F I R フィルタ 6 0 0 の特性を示す図

【図 2 9】図 2 4 に示した F I R フィルタ 6 0 0 (タップ数が長い場合) を動作させたときの制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 3 0】図 2 4 に示した F I R フィルタ 6 0 0 (タップ数が短い場合) を動作させたときの制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 3 1】第 2 の実施形態に係る騒音制御装置の回路構成を示す図

【図 3 2】図 3 1 に示した出力補正部 5 0 0 の L P F 5 0 1 の特性を示す図

【図 3 3】図 3 1 に示した出力補正部 5 0 0 (図 4 と図 3 2 の特性) を動作させたときの制御点 4 での騒音低減効果を示す図

20

【図 3 4】図 3 1 に示した出力補正部 5 0 0 (図 4 と図 3 2 の特性) を動作させた場合の点 X ~ 点 Y の伝達特性を示す図

【図 3 5】図 3 1 に示した出力補正部 5 0 0 の L P F 5 0 1 の他の特性を示す図

【図 3 6】図 3 1 に示した出力補正部 5 0 0 (図 1 0 と図 3 5 の特性) を動作させたときの制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 3 7】図 3 1 に示した出力補正部 5 0 0 (図 1 0 と図 3 5 の特性) を動作させた場合の点 X ~ 点 Y の伝達特性を示す図

【図 3 8】第 3 の実施形態に係る騒音制御装置の回路構成を示す図

【図 3 9】図 3 8 に示した騒音制御装置の騒音低減効果を示す図

30

【図 4 0】図 3 8 に示した騒音制御装置の適応フィルタ 3 0 1 の特性 (係数) を示す図

【図 4 1】図 3 1 に示した騒音制御装置の信号処理部 3 0 0 の特性 (係数) を示す図

【図 4 2】図 3 8 に示した騒音制御装置の点 X ~ 点 Y の伝達特性を示す図

【図 4 3】F F 制御の騒音制御装置の基本構成を示す図

【図 4 4】適応 F F 制御を用いた場合の騒音制御装置の基本構成を示す図

【図 4 5】F B 制御の騒音制御装置の基本構成を示す図

【図 4 6】図 4 3 あるいは図 4 4 における騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合の信号処理部 3 0 0 の係数と制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 4 7】図 4 3 あるいは図 4 4 における騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合の信号処理部 3 0 0 の係数と制御点 4 での騒音低減効果を示す図

40

【図 4 8】図 4 3 に示した騒音制御装置をアナログ混在の構成として再記述した図

【図 4 9】図 4 8 に示したアナログ L P F 7 ~ 8 の特性を示す図

【図 5 0】図 4 8 における騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合の信号処理部 3 0 0 の係数と制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 5 1】図 4 8 における騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合の信号処理部 3 0 0 の係数と制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 5 2】スピーカ特性を示す図

【図 5 3】図 4 3 に示した信号処理部 3 0 0 の出力に H P F を追加挿入した図

【図 5 4】図 5 3 に示した 1 次 H P F 9 ~ 1 0 の振幅特性と群遅延特性とを示す図

【図 5 5】図 5 3 における騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合の信号処理

50

部 3 0 0 の係数と制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 5 6】図 5 3 における騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合の信号処理部 3 0 0 の係数と制御点 4 での騒音低減効果を示す図

【図 5 7】従来の騒音制御装置を示す図

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 0 】

以下、本発明の実施の形態について、図 1 から図 4 2 を用いて説明する。

【 0 0 4 1 】

(第 1 の実施形態)

本発明の第 1 の実施形態に係る騒音制御装置の構成について説明する。図 1 は、第 1 の実施形態に係る騒音制御装置の回路構成を示す図である。

【 0 0 4 2 】

図 1 において、騒音源 1 からの騒音信号が騒音伝達系 2 0 0 を経て、制御点 4 に到達する。同時に、信号処理部 3 0 0 が騒音源 1 からの騒音信号を処理し、出力補正部 5 0 0 は、信号処理部 3 0 0 によって処理された信号を処理する。そして、出力補正部 5 0 0 によって処理された信号は、制御音響系 4 0 0 を経て制御点 4 に到達し、騒音伝達系 2 0 0 からの騒音信号に加えられる。なお、騒音源 1 から騒音が出力されてから騒音伝達系 2 0 0 を介して制御点 4 に到達するまでの時間を騒音伝達時間 T とし、騒音源 1 から騒音が出力されてから、信号処理部 3 0 0 および制御音響系 4 0 0 を介して制御音が制御点 4 に到達する時間を騒音制御処理時間とする。ここで、騒音伝達系 2 0 0 には - 0 . 5 の値を持つゲイン 2 0 1 が設定され、制御音響系 4 0 0 には $H P F 4 0 1$ が設定されている。 $H P F 4 0 1$ は、図 2 に示す特性を持つ、共振周波数 $f_c = 1 0 0 H z$ の 2 次 $H P F$ である。

【 0 0 4 3 】

まず、出力補正部 5 0 0 を動作させず、信号処理部 3 0 0 によって処理された信号がそのまま制御音響系 4 0 0 の $H P F 4 0 1$ へ入力される。信号処理部 3 0 0 には、出力補正部 5 0 0 を動作させない状態で、騒音伝達系 2 0 0 を経て制御点 4 に到達する騒音信号が低減されるように特性を設定している。ところで、騒音伝達系 2 0 0 はゲイン 2 0 1 のみで構成されているため、遅延は 0 である。一方、制御音響系 4 0 0 には図 2 に示す特性を有する $H P F 4 0 1$ の群遅延が存在するため、群遅延が大きくなっている低域では、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない。このため、制御点 4 での制御効果は図 3 のように周波数が低いほど騒音低減効果が少なくなり、6 0 H z 以下では僅かではあるが騒音増加している。

【 0 0 4 4 】

次に、 $L P F 5 0 1$ に図 4 に示す共振周波数 $f_c = 9 0 H z$ の 2 次 $L P F$ を適用し、ゲイン調整器 5 0 3 は、 $L P F 5 0 1$ からの出力信号について適切なレベル調整を施す。ゲイン調整器 5 0 3 によってレベル調整された信号は、加算器 5 0 2 に入力され、帰還する。このように、出力補正部 5 0 0 は、 $F B$ を構成する。ここで、出力補正部 5 0 0 に構成された $F B$ は、ゲイン調整器 5 0 3 に - 1 . 0 などマイナスの値を設定すれば負帰還に、+ 1 . 0 などプラスの値を設定すれば正帰還になる。この出力補正部 5 0 0 を正帰還として動作させると図 5 に示す効果が得られる。図 5 を見ると、図 3 での 6 0 H z の騒音増加が防止されているだけでなく騒音低減されており、かつ、2 0 0 H z 以下での騒音低減効果も向上している。

【 0 0 4 5 】

この理由を以下で説明する。

【 0 0 4 6 】

図 6 は、図 1 に示した騒音制御装置の出力補正部 5 0 0 と制御音響系 4 0 0 とを削除した騒音制御装置を示す図である。図 6 において、信号処理部 3 0 0 と騒音伝達系 2 0 0 との遅延は等しいため、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っており、信号処理部 3 0 0 の特性は点 X ~ 点 Y の伝達特性と等しく、図 7 のようになる。図 7 から明らかに、点 X ~ 点 Y の伝達特性は騒音伝達系 2 0 0 の伝達特性と同一振幅かつ逆位相 (つまり、+ 0 .

5のゲイン特性)となっている。

【0047】

図8は、図1に示した騒音制御装置の出力補正部500を動作させなかった場合(=図3の効果)の点X~点Yの伝達特性を示している。一方、図9は、図1に示した騒音制御装置の出力補正部500を動作させた場合(=図5の効果)の点X~点Yの伝達特性を示している。図8(1)では、周波数が40Hz以下の低域において、振幅が下がっている。図8(2)では、周波数が200Hz以下の低域において、位相が0度からずれている。これに対して、図9(1)では、振幅は概して-6dBであり、図9(2)では、低域においても位相は0度付近に維持されている。このように、図9に示す特性は、図7に示す特性に近くなっている。つまり、図1に示した騒音制御装置のHPF401の群遅延で騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない低域が存在したとしても、図1に示した騒音制御装置は、出力補正部500を動作させることによって、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う図6に示した騒音制御装置の制御に近い処理を実行できることになる。

10

【0048】

別の例として、LPF501に図10に示す共振周波数 $f_c = 60\text{Hz}$ の1次LPFを適用した場合、図11に示す騒音低減効果が得られる。図11では、図3での60Hzの騒音増加が防止されているだけでなく騒音低減されており、かつ、2kHz以下での騒音低減効果も向上している。また、このときの図1に示した騒音制御装置の点X~点Yの伝達特性は図12のようになる。図12(1)では、振幅は概して-6dBであり、図12(2)では、位相は0度付近に維持されている。

20

【0049】

LPF501にどのような特性を有するLPFを適用するかは、状況に応じて選択すればよい。例えば、100Hz以下の低域を重視する場合、図5に示す効果が得られる $f_c = 90\text{Hz}$ の2次LPFをLPF501に適用し、100Hz以上の中域を重視する場合、図11に示す効果が得られる $f_c = 60\text{Hz}$ の1次LPFをLPF501に適用すればよい。大切なことは、このような特性を有するLPFをLPF501に適用した上で、図1に示した騒音制御装置の点X~点Yの伝達特性が、騒音伝達系200の伝達特性と同一振幅かつ逆位相にできる限り等しくすることである。

【0050】

次に、図1のHPF401の共振周波数を高域に設定した場合、図1に示した騒音制御装置は、上述した騒音低減効果が得られるような制御が可能かを検証する。図13は、HPF401に共振周波数 $f_c = 1\text{kHz}$ の2次HPFを適用したときの騒音低減効果を示している。80~400Hzにおいて、騒音増加になっている。これに対して、図1のLPF501に共振周波数 $f_c = 600\text{Hz}$ の2次LPFを適用し、ゲイン調整器503に適切なプラスの値を設定して、出力補正部500に構成されたFBを正帰還としたときの騒音低減効果を図14に示す。図14に示すように、80~400Hzにおいて、騒音増加が抑制され、さらに1kHz以下で騒音低減効果が向上している。同様に、図15は、HPF401に共振周波数 $f_c = 10\text{kHz}$ の2次HPFを適用したときの騒音低減効果を示している。800~4000Hzにおいて、騒音増加になっている。これに対して、図1のLPF501に共振周波数 $f_c = 6\text{kHz}$ の2次LPFを適用し、ゲイン調整器503に適切なプラスの値を設定して、出力補正部500に構成されたFBを正帰還としたときの騒音低減効果を図16に示す。図16に示すように、800~4000Hzにおいて、騒音増加が抑制され、さらに6kHz以下で騒音低減効果が向上している。

30

40

【0051】

以上から、図1のHPF401の共振周波数が高域に設定した場合でも、つまり制御スピーカの共振周波数 f_o が高域側になったとしても、図1に示した騒音制御装置は、上述した騒音増加を抑制する制御が可能であり、騒音低減効果も向上できることが分かる。

【0052】

さて、図1に示した騒音制御装置について、制御音響系400にはHPF401を制御

50

スピーカに見立てて説明してきたが、実際のスピーカを用いた場合の動作について以下説明する。

【 0 0 5 3 】

図 1 7 は、制御音響系に実際のスピーカを用いた場合の騒音制御装置の全体構成を示す図である。図 1 7 において、騒音制御装置は、複数の騒音源 1 0 0 1 ~ 1 0 0 4 をそれぞれ対応する複数の騒音マイク 2 0 0 1 ~ 2 0 0 4 で検出し、検出した騒音を騒音制御システム 3 0 0 0 で処理する。そして、騒音制御装置は、騒音制御システム 3 0 0 0 からの出力信号を複数のスピーカ 4 0 0 1 ~ 4 0 0 2 で再生することによって、複数の制御点 4 0 0 3 ~ 4 0 0 4 で騒音低減する。図 1 8 は、図 1 7 に示した騒音制御装置を図 1 のようにブロック図として模式的に示す図である。図 1 8 において、まず騒音制御システム 3 0 0 0 は、出力補正部を動作させず（出力補正部の入力をそのまま出力する）に信号処理部を動作させて、騒音マイク 2 0 0 1 ~ 2 0 0 4 で検出した騒音源 1 0 0 1 ~ 1 0 0 4 からの騒音信号を信号処理する。信号処理された騒音信号はスピーカ 4 0 0 1 ~ 4 0 0 2 で再生される。スピーカ 4 0 0 1 ~ 4 0 0 2 から出力される騒音信号は、制御点であるエラーマイク 4 0 0 3 ~ 4 0 0 4 において、未知系である騒音伝達系 2 0 0 を経て到達した騒音源 1 0 0 1 ~ 1 0 0 4 からの騒音と干渉する。そして、当該打ち消された残りのエラー信号が騒音制御システム 3 0 0 0 に入力する。騒音制御システム 3 0 0 0 は、入力されたエラー信号を最小とするように信号処理部の特性（係数）を求める。これによって、制御点であるエラーマイク 4 0 0 3 ~ 4 0 0 4 での騒音が低減される。

【 0 0 5 4 】

次に、騒音制御システム 3 0 0 0 は、求めた係数を用いて信号処理部を固定係数フィルタとして動作させ、出力補正部を動作させる。この出力補正部は、例えば、図 1 の出力補正部 5 0 0 のような構成であって、出力補正部 5 0 0 における L P F 5 0 1 のフィルタ係数やゲイン調整器 5 0 3 のゲインなどのパラメータをこれまで説明してきたように適切な値に設定する。図 1 9 は、図 1 7 および図 1 8 に示したエラーマイク 4 0 0 3 における騒音低減効果を示す図である。図 1 9 において、騒音制御しない場合の騒音特性「OFF」、出力補正部を動作させないで騒音制御した場合の騒音特性「ON（補正無）」、および出力補正部を動作させて騒音制御した場合の騒音特性「ON（補正有）」を示している。図 1 9 に示すように、騒音特性「ON（補正無）」は、騒音特性「OFF」に比べて、8 0 H z 以下で 5 d B 以上の騒音増加が認められる。一方、騒音特性「ON（補正有）」では、当該騒音増加が 0 ~ 5 d B 未満に抑制されている。同様に、図 2 0 は、図 1 7 および図 1 8 に示したエラーマイク 4 0 0 4 における騒音低減効果を示す図である。図 2 0 に示すように、騒音特性「ON（補正無）」は、騒音特性「OFF」に比べて、7 0 H z 以下で 5 d B 以上の騒音増加が認められる。一方、騒音特性「ON（補正有）」では、当該騒音増加が 0 ~ 5 d B 未満に抑制されている。以上より、実際のスピーカを用いた場合でも本発明の騒音制御装置が有効であることが確認できた。

【 0 0 5 5 】

これまでは、図 1 のゲイン調整器 5 0 3 にプラスの値を設定する正帰還について説明してきたが、以下にマイナスの値を設定する負帰還について説明する。図 1 の H P F 4 0 1 に共振周波数 $f_c = 100 \text{ Hz}$ の 2 次 H P F を適用して出力補正部 5 0 0 を動作させない場合の騒音低減効果は図 3 であった。そこで、図 1 の L P F 5 0 1 に共振周波数 $f_c = 60 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用して、ゲイン調整器 5 0 3 に適切なマイナスの値を設定して負帰還すると、その騒音低減効果は図 2 1 のようになる。図 2 1 では、図 3 と比較すると、6 0 H z 以下の騒音増加は少なくなっているが、完全に無くなっているわけではない。また、1 0 0 H z 以上でも騒音低減効果が劣化している。同様に、図 1 の H P F 4 0 1 に共振周波数 $f_c = 1 \text{ kHz}$ の 2 次 H P F を適用し、L P F 5 0 1 に共振周波数 $f_c = 600 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用して、ゲイン調整器 5 0 3 に適切なマイナスの値を設定して負帰還すると、その騒音低減効果は図 2 2 のようになる。図 2 2 では、図 1 3 と比較すると、4 0 0 H z 以下の騒音増加は少なくなっているが、完全に無くなっているわけではない。また、6 0 0 H z 以上でも騒音低減効果が劣化している。さらに、図 1 の H P F 4 0 1 に

共振周波数 $f_c = 10 \text{ kHz}$ の 2 次 H P F を適用し、L P F 5 0 1 に共振周波数 $f_c = 6 \text{ kHz}$ の 1 次 L P F を適用して、ゲイン調整器 5 0 3 に適切なマイナスの値を設定して負帰還すると、その騒音低減効果は図 2 3 のようになる。図 2 3 では、図 1 5 と比較すると、 2 kHz 以下の騒音増加は少なくなっているが、その量は僅かである。また、 4 kHz 以上でも騒音低減効果が劣化している。

【 0 0 5 6 】

このように、出力補正部 5 0 0 を負帰還制御すると、一定の騒音増加抑制は得られるが、正帰還のように完全に騒音増加を抑えることはできない。しかし、正帰還では低域になるほどレベルが上昇する制御となるため、出力補正部 5 0 0 で低域オーバーフローの可能性がある。これに対して負帰還では、逆に低域になるほどレベルが下降する、あるいは一定レベル以上上昇しない制御となるため、出力補正部 5 0 0 の動作を安定させることができる。正帰還でも条件次第で出力補正部 5 0 0 の動作を安定させることは可能であるため、正帰還または負帰還のいずれの帰還を選ぶかは、適用先の環境、条件によって最もよい方に決めればよい。

【 0 0 5 7 】

次に、図 1 の信号処理部 3 0 0 と出力補正部 5 0 0 とを 1 つのフィルタに合成する場合について述べる。図 2 4 は、図 1 の信号処理部 3 0 0 と出力補正部 5 0 0 の特性を合成し、当該合成された特性を係数として F I R フィルタ 6 0 0 に設定した構成を示す図である。

【 0 0 5 8 】

まず、図 2 4 に示した F I R フィルタ 6 0 0 を含む騒音制御装置の元となる図 1 に示した騒音制御装置において、出力補正部 5 0 0 を動作させずに制御した場合の騒音低減効果は図 3 のとおりであった。図 3 に示す騒音低減効果を得る場合、信号処理部 3 0 0 は、例えば 2 0 4 8 タップの F I R フィルタで設計した場合、図 2 5 に示す特性を有することになる。ここで、図 1 の出力補正部 5 0 0 の L P F 5 0 1 に図 2 6 に示した特性を有する共振周波数 $f_c = 6 0 \text{ Hz}$ の 2 次 L P F を適用する。図 2 7 は、図 1 に示した出力補正部 5 0 0 (図 2 6 の特性) を動作させたときの制御点での騒音低減効果を示す図である。

【 0 0 5 9 】

このように求めた図 1 の信号処理部 3 0 0 の特性と、出力補正部 5 0 0 の特性とを合わせて、図 2 4 の F I R フィルタ 6 0 0 に係数として近似する。図 2 8 は、図 2 4 に示した F I R フィルタ 6 0 0 の特性を示す図であり、F I R フィルタ 6 0 0 のタップ数は 1 0 7 5 7 1 である。そして、図 2 9 は、図 2 8 に示した特性を有する F I R フィルタ 6 0 0 を含む騒音制御装置の騒音低減効果を示す図である。図 2 9 に示す騒音低減効果は、図 2 7 に示すものほとんど等しいことが分かる。F I R フィルタ 6 0 0 のタップ数を 1 0 7 5 7 1 と長くしたために図 2 9 に示すような騒音低減効果が得られているが、逆に F I R フィルタ 6 0 0 のタップ数を短くした場合、騒音低減効果は劣化する。図 3 0 は、F I R フィルタ 6 0 0 のタップ数を短くした場合の騒音低減効果を示す図である。図 3 0 において、出力補正部 5 0 0 の補正による効果向上が大きいほど、騒音低減効果の劣化が著しくなる。当該騒音低減効果の劣化の原因は、図 1 の出力補正部 5 0 0 が帰還系であるため無限応答なのに比べて、図 2 4 の F I R フィルタ 6 0 0 は有限応答であることによる。

【 0 0 6 0 】

このように、図 1 の信号処理部 3 0 0 の特性と、出力補正部 5 0 0 の特性とを合成し、当該合成された特性を図 2 4 の F I R フィルタ 6 0 0 の係数としてまとめてしまうことは可能である。しかし、F I R フィルタ 6 0 0 のタップ数を長くする必要があるため、結局、図 1 の帰還系を用いた出力補正部 5 0 0 とする方が演算量を低減できる。

【 0 0 6 1 】

以上のように、本発明の第 1 の実施形態に係る騒音制御装置によれば、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない周波数帯域における騒音増加を抑止しつつ、かつ、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っている周波数帯域においては騒音を低減させることができる。

【 0 0 6 2 】

(第 2 の実施形態)

本実施形態では、第 1 の実施形態で説明した騒音制御装置の出力補正部を複数の正帰還で構成する場合について述べる。図 3 1 は、第 2 の実施形態に係る騒音制御装置の回路構成を示す図である。

【 0 0 6 3 】

図 3 1 に示すように、出力補正部 5 0 0 は、L P F 5 0 1、5 0 4 と加算器 5 0 2、5 0 5 とゲイン調整器 5 0 3、5 0 6 とを用いて、2 つの帰還部を直列構成する。ここで、L P F 5 0 1 には、図 4 に示す共振周波数 $f_c = 90 \text{ Hz}$ の 2 次 L P F を適用し、L P F 5 0 4 には図 3 2 に示す共振周波数 $f_c = 10 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用する。そして、ゲイン調整器 5 0 3、5 0 6 に適切なプラスの値を設定して正帰還させる構成とすると、そのときの騒音低減効果は図 3 3 のようになる。図 3 3 では、 100 Hz 以上では図 5 と同等の騒音低減効果を維持しながら、 70 Hz 以下では図 5 よりも騒音低減効果が向上している。図 3 1 に示す騒音制御装置の点 X ~ 点 Y の伝達特性は図 3 4 のようになる。図 3 4 において、振幅特性は図 9 と同等、位相特性は 30 Hz 以下で図 9 よりもさらに 0 度に近づいている。つまり、出力補正部 5 0 0 に共振周波数 $f_c = 10 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を直列に用いることにより、共振周波数 $f_c = 90 \text{ Hz}$ の 2 次 L P F を単独で用いた図 1、図 5 の場合よりも、さらに低域の騒音低減効果を向上させることができる。

【 0 0 6 4 】

図 3 1 における L P F 5 0 1、5 0 3 に他の特性を設定する例として、L P F 5 0 1 に図 1 0 に示す共振周波数 $f_c = 60 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用し、L P F 5 0 3 に図 3 5 に示す共振周波数 $f_c = 30 \text{ Hz}$ の 2 次 L P F を適用する。このときの騒音低減効果は図 3 6 のようになる。図 3 6 では、 100 Hz 以上では図 1 1 と同等の騒音低減効果を維持しながら、 100 Hz 以下では図 1 1 よりも騒音低減効果が大きく向上している。図 3 1 に示す騒音制御装置の点 X ~ 点 Y の伝達特性は図 3 7 のようになる。図 3 7 において、振幅特性は図 1 2 と同等、位相特性は 40 Hz 以下で図 1 2 よりもさらに 0 度に近づいている。つまり、出力補正部 5 0 0 に共振周波数 $f_c = 30 \text{ Hz}$ の 2 次 L P F を直列に用いることにより、共振周波数 $f_c = 60 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を単独で用いた図 1、図 1 1 の場合よりも、さらに低域の騒音低減効果を向上させることができる。

【 0 0 6 5 】

(第 3 の実施形態)

本実施形態では、第 2 の実施形態で説明した騒音制御装置の信号処理部を適応フィルタとして動作させる場合について述べる。図 3 8 は、第 3 の実施形態に係る騒音制御装置の回路構成を示す図である。図 3 8 において、第 3 の実施形態に係る騒音制御装置は、信号処理部 3 0 0 において適応フィルタ 3 0 1 を含む構成としている。

【 0 0 6 6 】

図 3 8 において、適応フィルタ 3 0 1 は騒音源 1 からの騒音信号を信号処理し、制御信号として出力補正部 5 0 0 へ出力する。出力補正部 5 0 0 で補正された制御信号は制御音響系 4 0 0 を経て、制御点 4 に到達する。制御点 4 では、騒音源 1 から騒音伝達系 2 0 0 を伝達してきた騒音と、制御音響系 4 0 0 からの制御音とが加算され、エラー信号として係数更新部 3 0 3 へ入力される。ところで、信号処理部 3 0 0 の F x フィルタ 3 0 2 の特性 (係数) は、出力補正部 5 0 0 の特性と制御音響系 4 0 0 の特性とを合わせた特性に近似している。あるいは、F x フィルタ 3 0 2 内に出力補正部 5 0 0 と同一の処理を構成し、制御音響系 4 0 0 の特性を近似したフィルタを直列に接続するようにしてもよい。そして、係数更新部 3 0 3 は、この F x フィルタ 3 0 2 の出力信号と制御点 4 からのエラー信号とに基づいて、エラー信号が最小になるように適応フィルタ 3 0 1 の係数を更新する。これによって、制御点 4 での騒音が低減することになる。図 3 9 は、図 3 8 に示した騒音制御装置の騒音低減効果を示す図である。ここで、出力補正部 5 0 0 の L P F 5 0 1 には図 1 0 に示す共振周波数 $f_c = 60 \text{ Hz}$ の 1 次 L P F を適用し、L P F 5 0 3 には図 3 5 に示す共振周波数 $f_c = 30 \text{ Hz}$ の 2 次 L P F を適用する。図 3 9 と図 3 6 とを比べると

、図 39 では騒音低減効果が大きく向上している。

【 0 0 6 7 】

ここで、図 40 は、図 38 に示した騒音制御装置の適応フィルタ 301 の特性（係数）を示す図である。図 40 に示す特性を有する適応フィルタ 301 を用いることによって、図 38 に示した騒音制御装置は、図 39 で示した騒音低減効果を奏している。図 41 は、図 31 に示した騒音制御装置の信号処理部 300 の特性（係数）を示す図である。図 41 に示す特性を有する信号処理部 300 を用いることによって、図 31 に示した騒音制御装置は、図 34 で示した騒音低減効果を奏している。図 40 と図 41 とを比較すると、図 40 の方が滑らかな特性になっていることが分かる。

【 0 0 6 8 】

また、図 38 に示す騒音制御装置において図 39 で示した騒音低減効果を得ている場合、当該騒音制御装置の点 X ～点 Y の伝達特性は図 42 のようになる。図 31 に示す騒音制御装置において図 36 で示した騒音低減効果を得ている場合、当該騒音制御装置の点 X ～点 Y の伝達特性は図 37 のようになる。図 42 に示す特性は、明らかに図 7 に示す特性とほとんど一致する特性となっている。これに対して、図 37 に示す特性は、振幅特性および位相特性共に、図 7 に示すの特性と比べて微小な誤差が発生している。当該誤差が図 36 に示す騒音低減効果に影響している。

【 0 0 6 9 】

このように、図 38 に示したように、騒音制御装置の信号処理部 300 を適応フィルタ 301 で構成し、出力補正部 500 を動作させた状態で、適応フィルタ 301 の係数を求めるように適応処理を実行すると、全周波数帯域で高精度な制御係数を求めることができる。従って、図 38 に示した騒音制御装置によれば、低域から高域まで騒音低減効果を向上させることができる。当然、本発明の第 3 の実施形態に係る騒音制御装置によれば、本発明の第 1 の実施形態に係る騒音制御装置と同様に、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない周波数帯域があっても、騒音増加を抑制しつつ、かつ、さらに騒音を低減させることができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 7 0 】

本発明に係る騒音制御装置は、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っていない周波数帯域における騒音増加を抑止しつつ、かつ、騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合っている周波数帯域においては騒音を低減させることが可能であり、掃除機や冷蔵庫、エアコンなどの家電製品や、自動車や航空機などの交通機関、工場などの産業機器など、騒音を低減させたいあらゆる分野に広く適用される。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 1 】

- 1, 101, 1001, 1002, 1003, 1004 騒音源
- 4 制御点
- 5, 115, 117 A/Dコンバータ
- 6, 116 D/Aコンバータ
- 7, 8 アナログLPF
- 9, 10 1次HPF
- 102 容器
- 103 騒音検出マイク
- 104 消音誤差検出マイク
- 105 消音用スピーカ
- 106, 110, 600 FIRフィルタ
- 107, 109 デジタルフィルタ
- 108, 111 係数制御部
- 112, 113, 114 アンプ
- 200 騒音伝達系

10

20

30

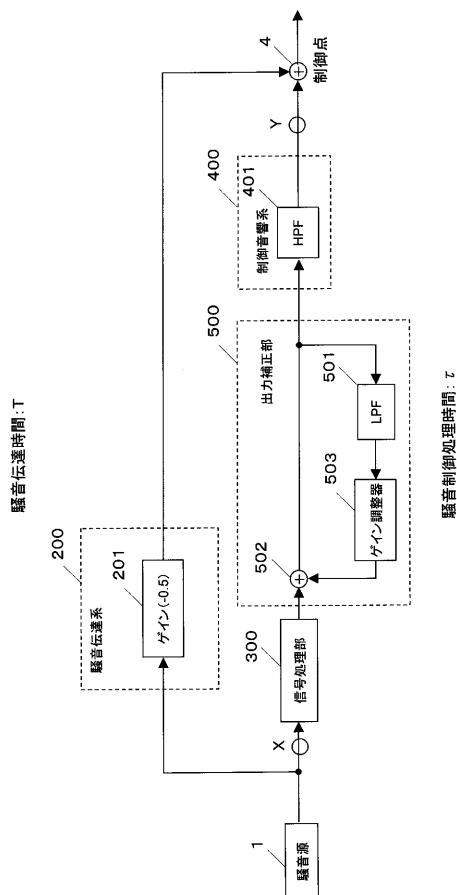
40

50

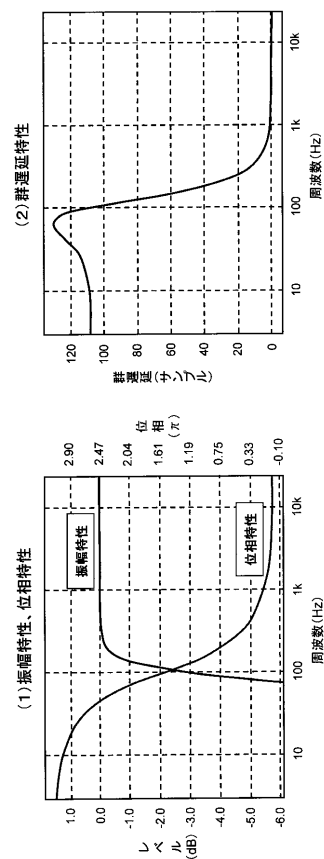
2 0 1	ゲイン
3 0 0	信号処理部
3 0 1	適応フィルタ
3 0 2	F x フィルタ
3 0 3	係数更新部
4 0 0	制御音響系
4 0 1	H P F
5 0 0	出力補正部
5 0 1 , 5 0 4	L P F
5 0 2 , 5 0 5	加算器
5 0 3 , 5 0 6	ゲイン調整器
2 0 0 1 , 2 0 0 2 , 2 0 0 3 , 2 0 0 4	騒音マイク
3 0 0 0	騒音制御システム
4 0 0 1 , 4 0 0 2	スピーカ
4 0 0 3 , 4 0 0 4	エラーマイク

10

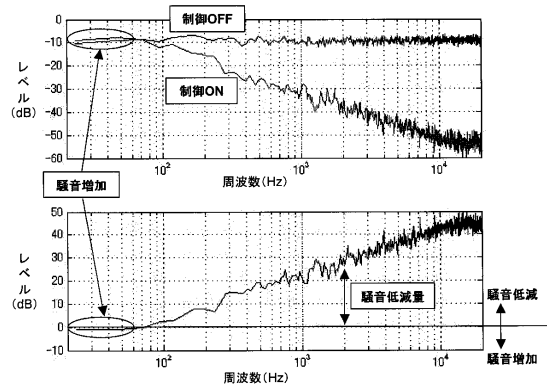
【 図 1 】



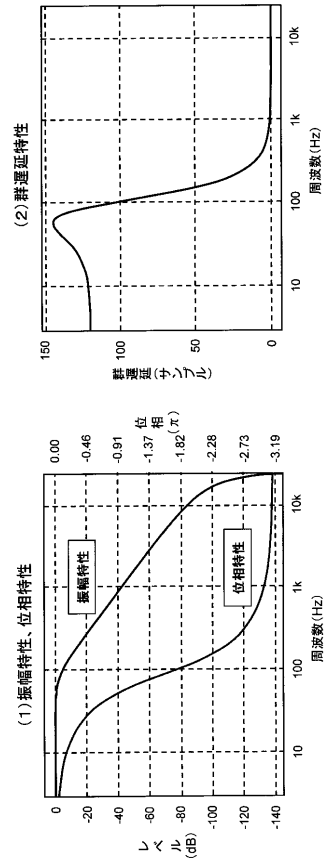
【 図 2 】



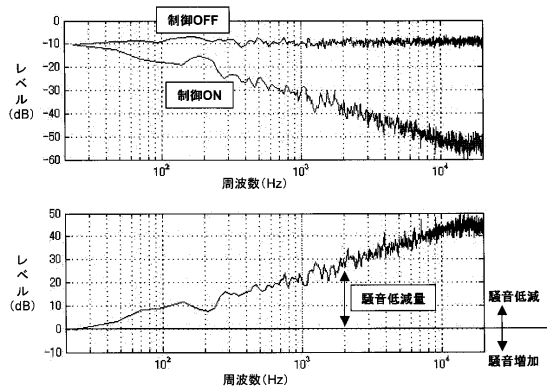
【図 3】



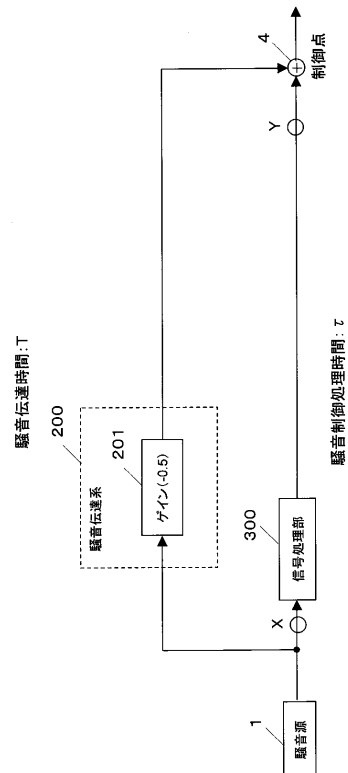
【図 4】



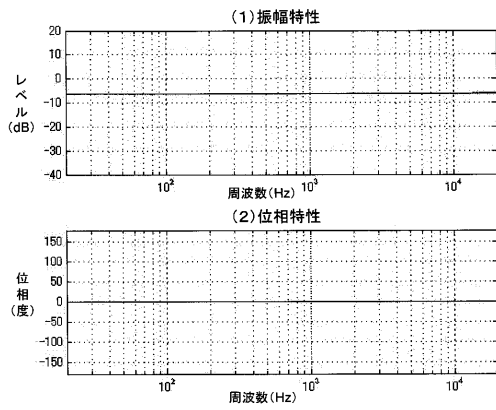
【図 5】



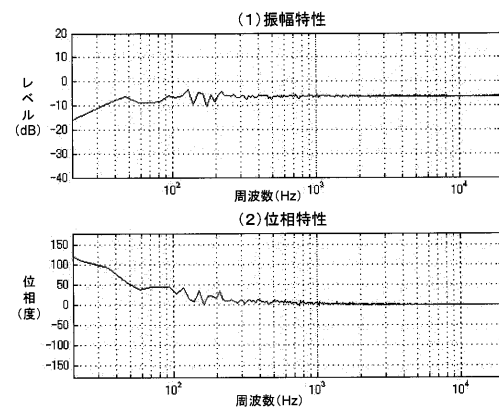
【図 6】



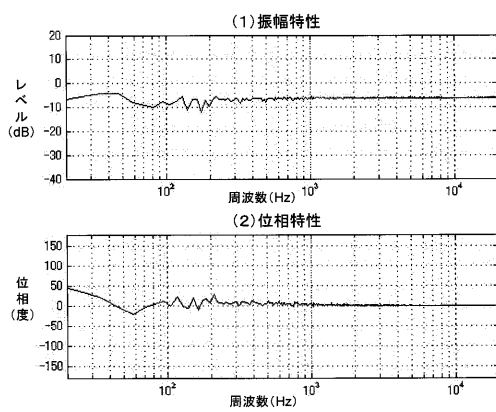
【図 7】



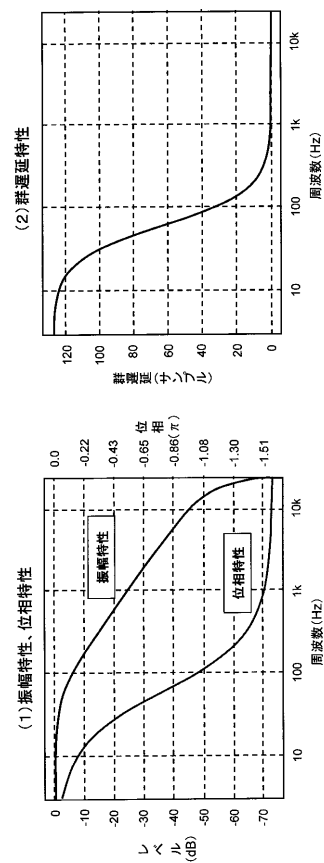
【図 8】



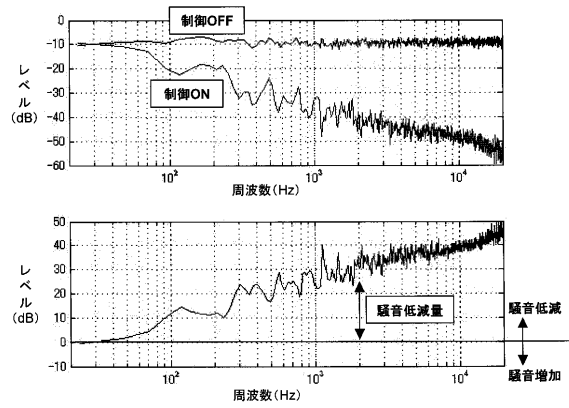
【図 9】



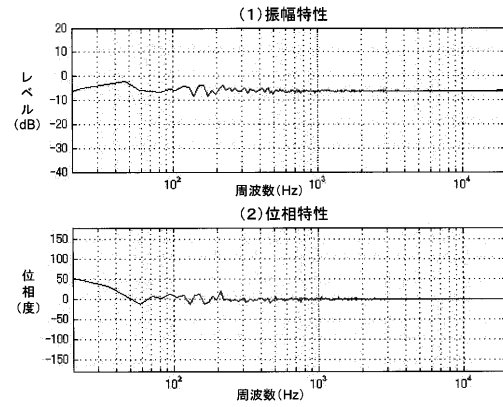
【図 10】



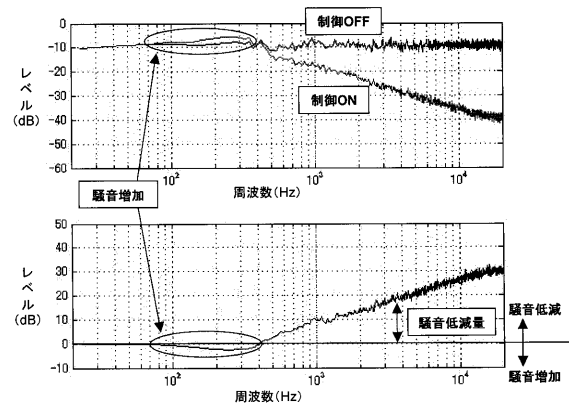
【図 1 1】



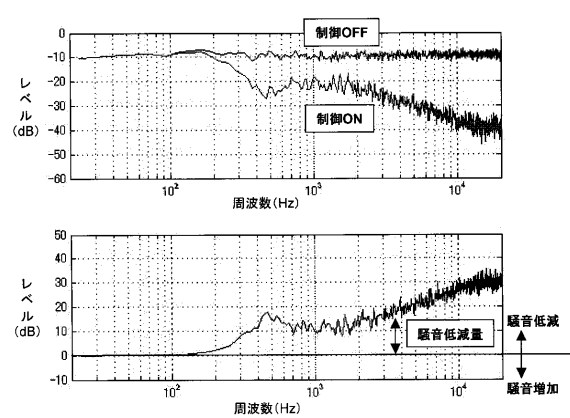
【図 1 2】



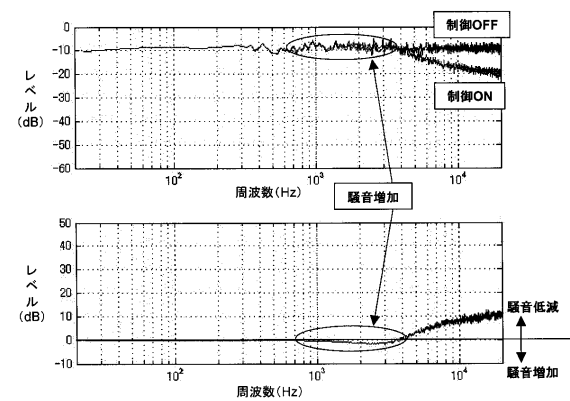
【図 1 3】



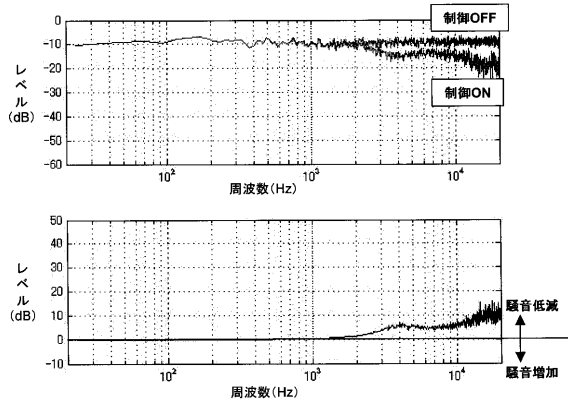
【図 1 4】



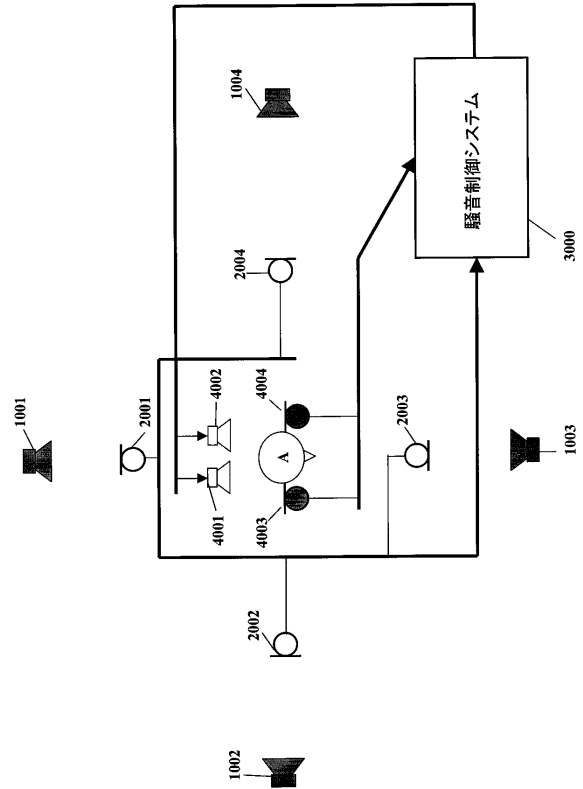
【図 1 5】



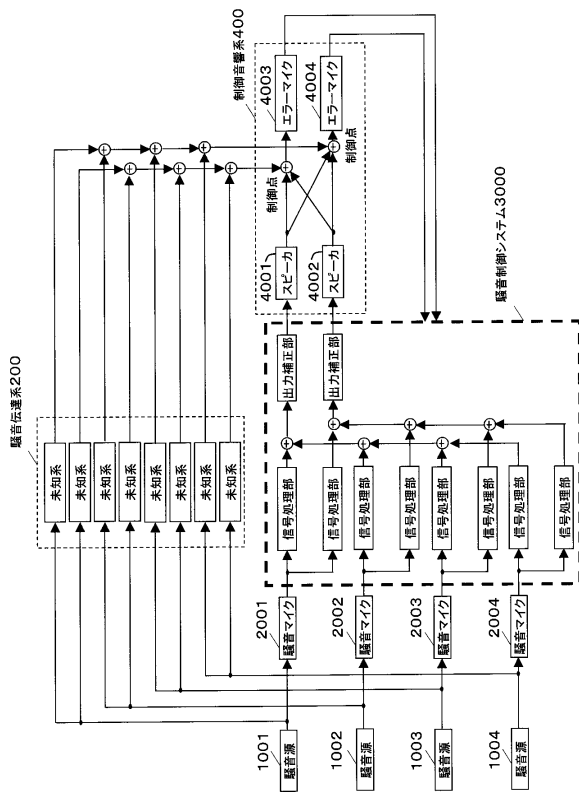
【図16】



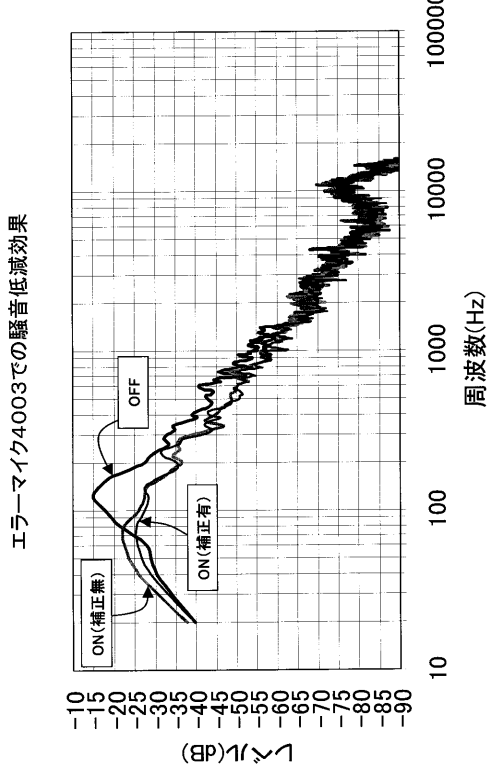
【図17】



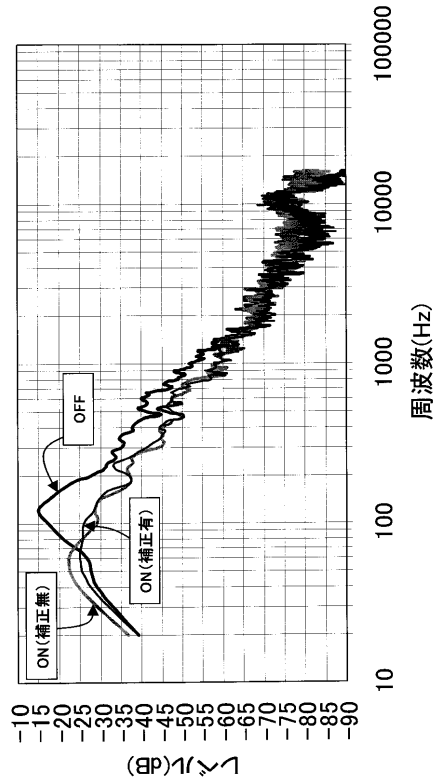
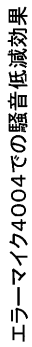
【図18】



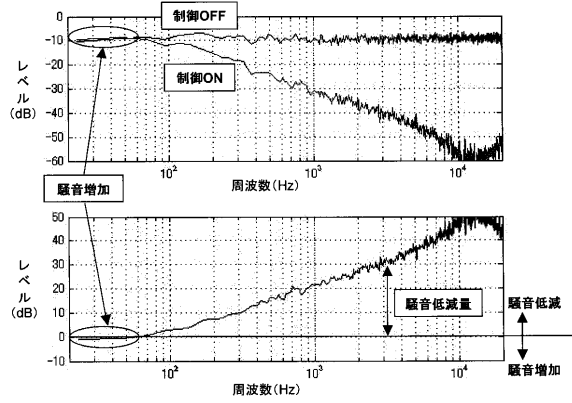
【図19】



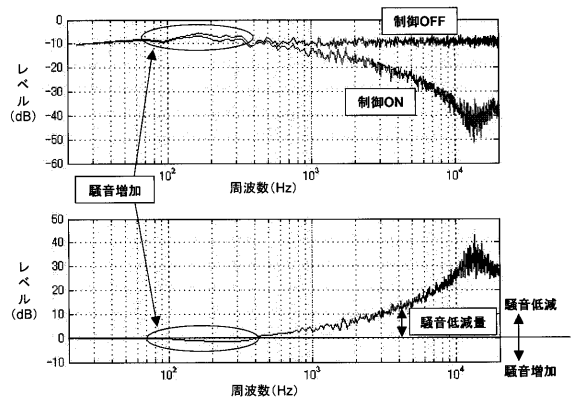
【 図 2 0 】



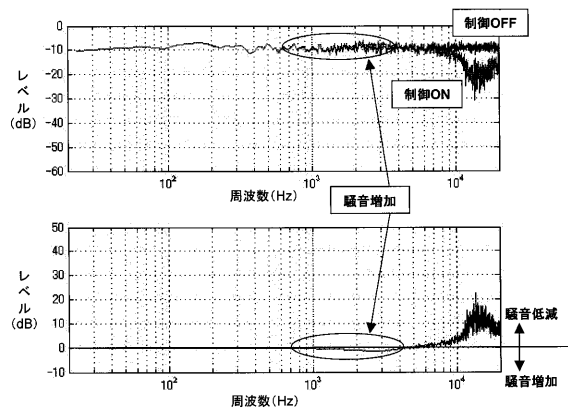
【 図 2 1 】



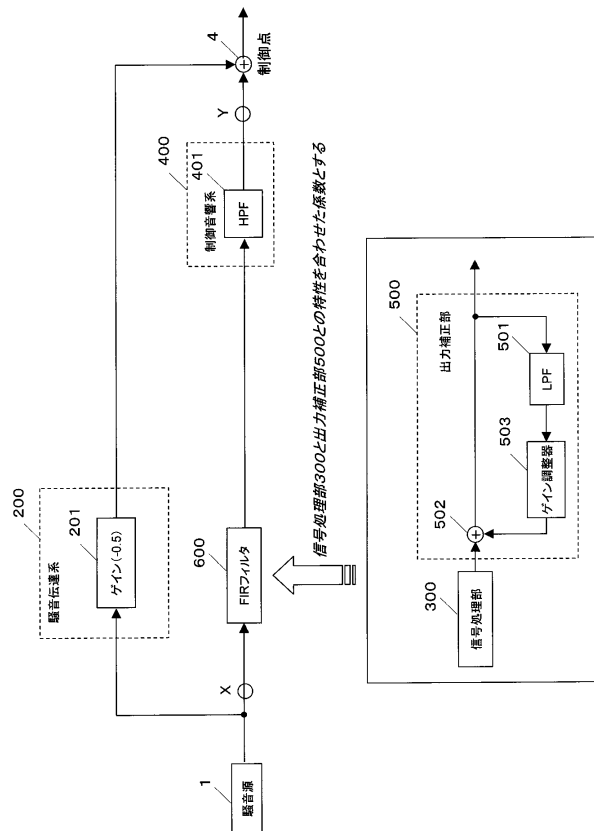
【圖 22】



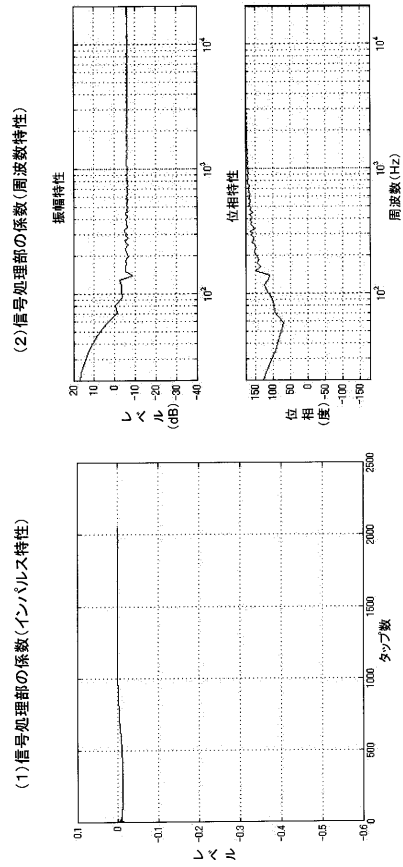
【 図 2 3 】



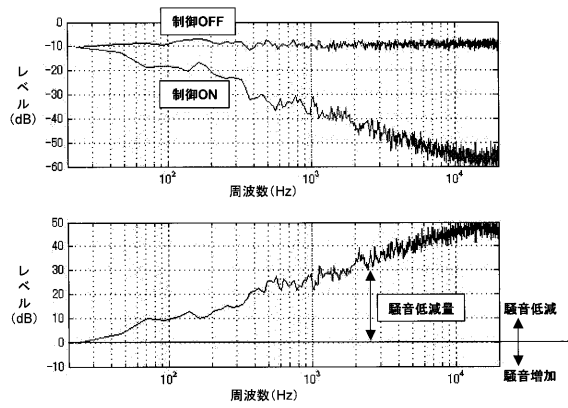
【 図 2 4 】



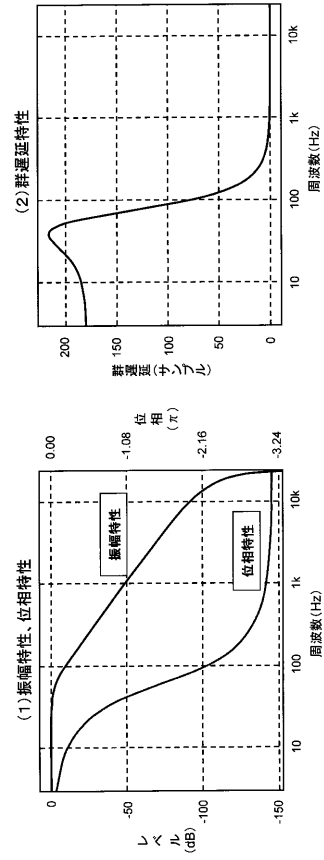
【図 25】



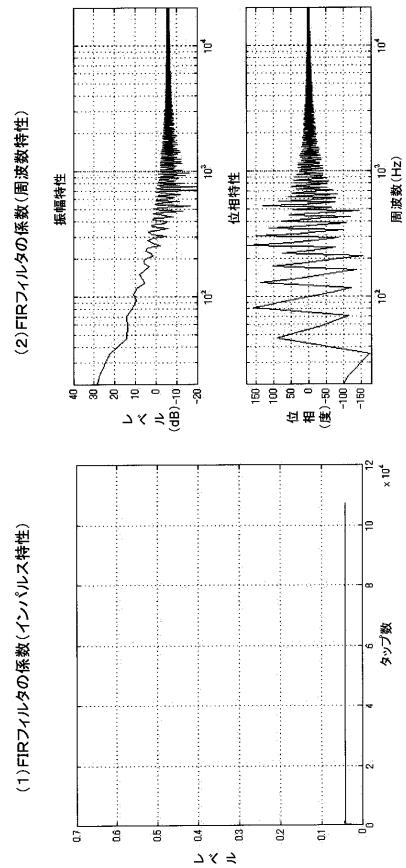
【図 27】



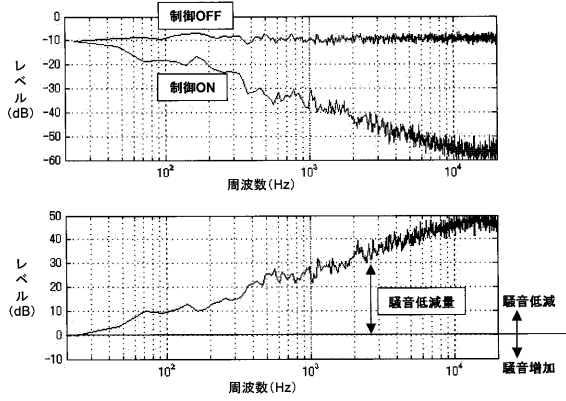
【図 26】



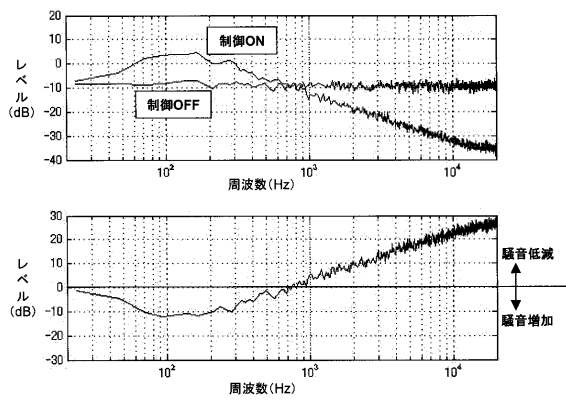
【図 28】



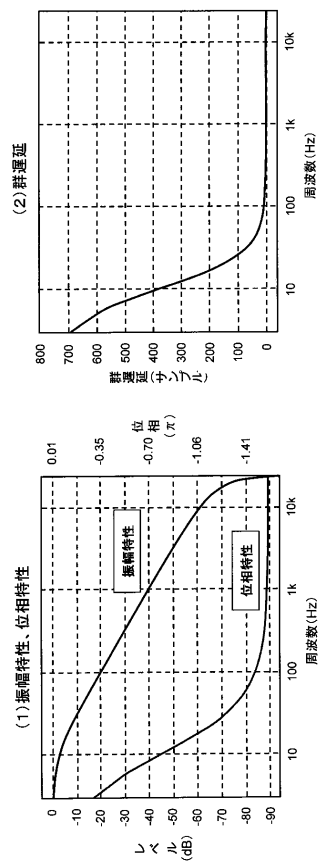
【図 29】



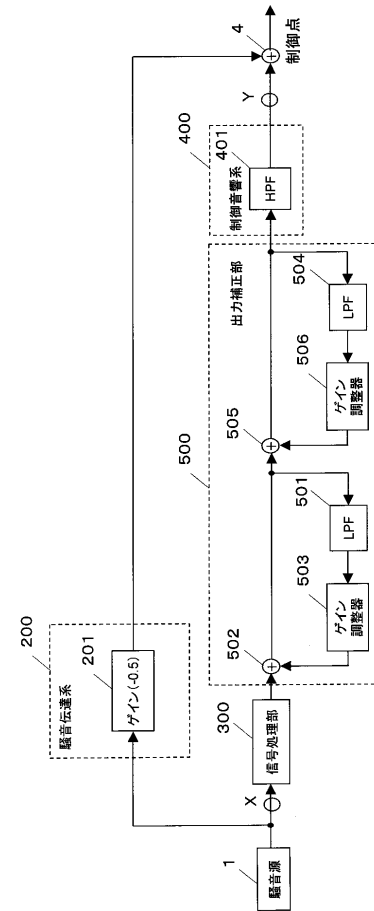
【図 30】



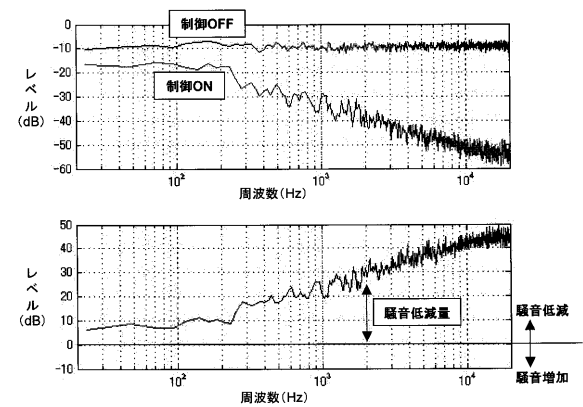
【図 32】



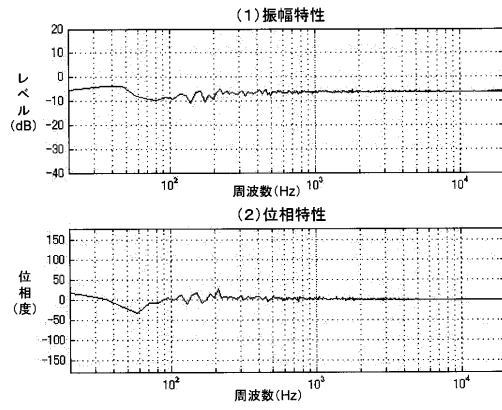
【図 31】



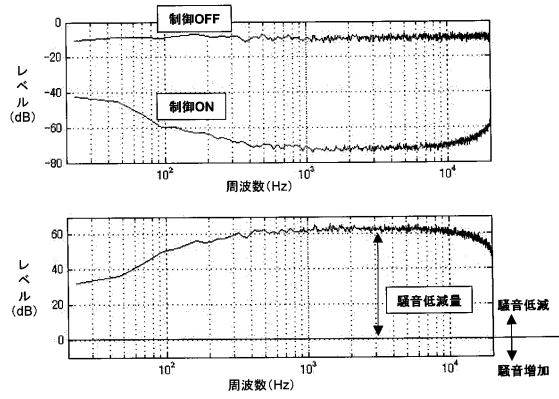
【図 33】



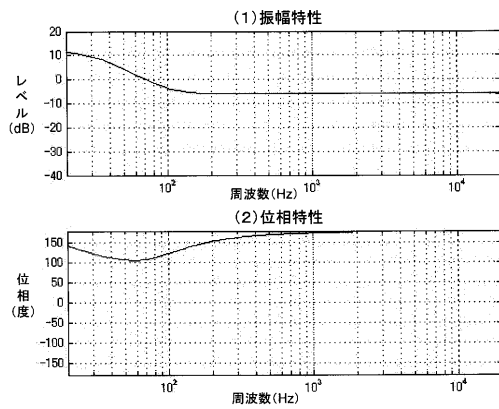
【 図 3 4 】



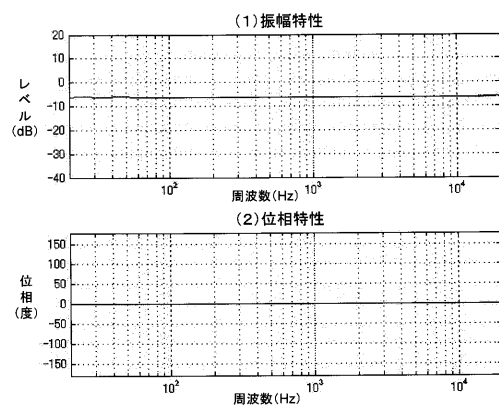
【図 39】



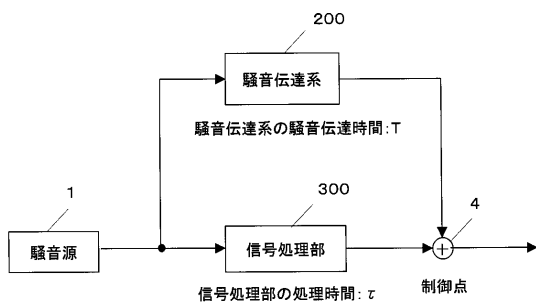
【図 40】



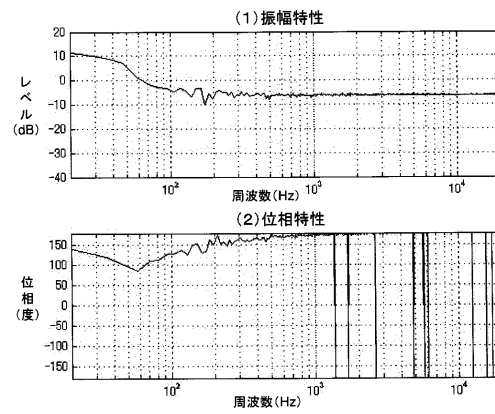
【図 42】



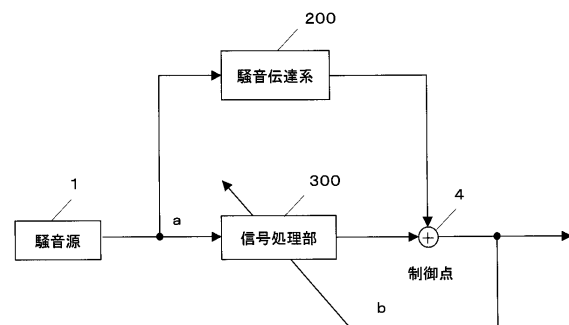
【図 43】



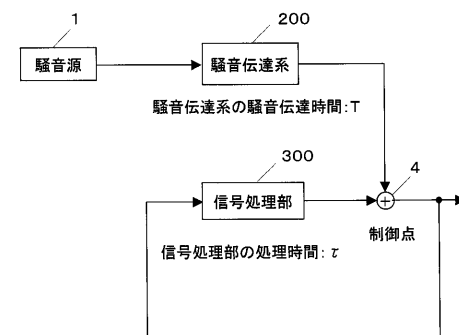
【図 41】



【図 44】

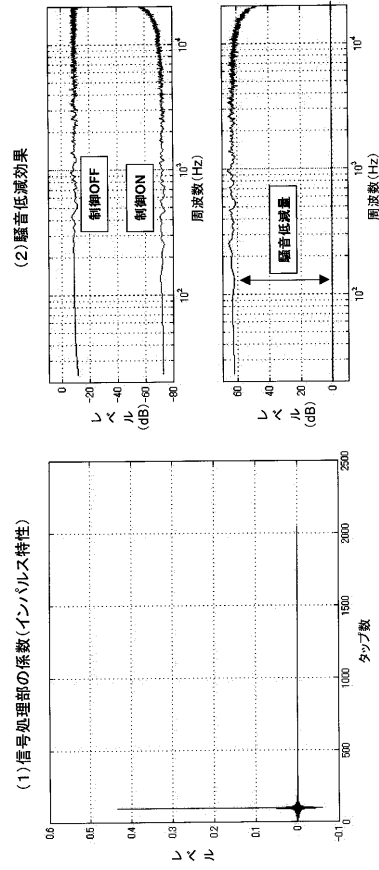


【図 45】



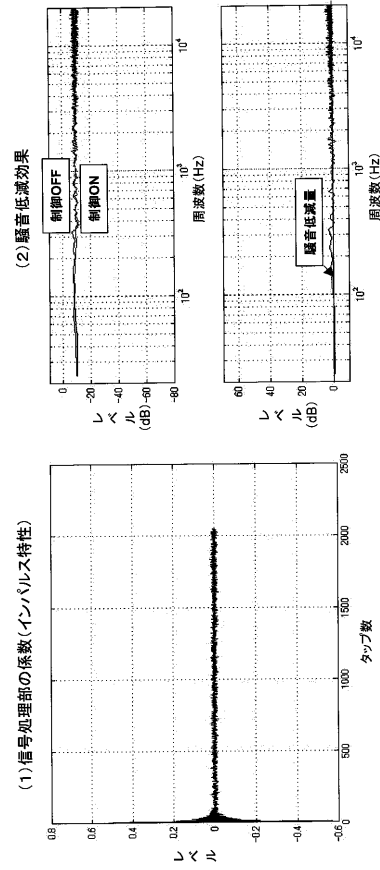
【図 46】

騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合: $\tau \leq T$

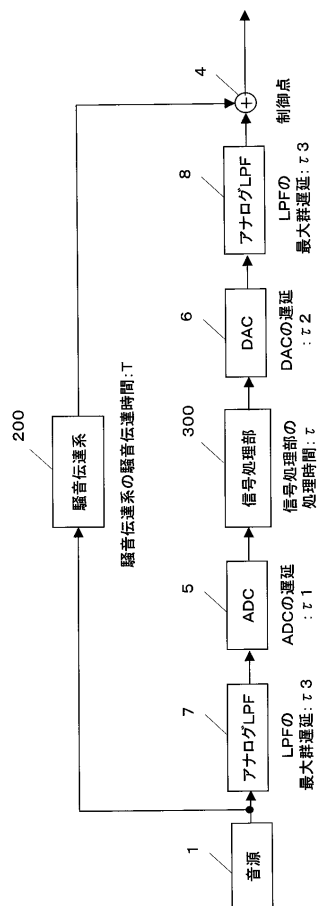


【図 47】

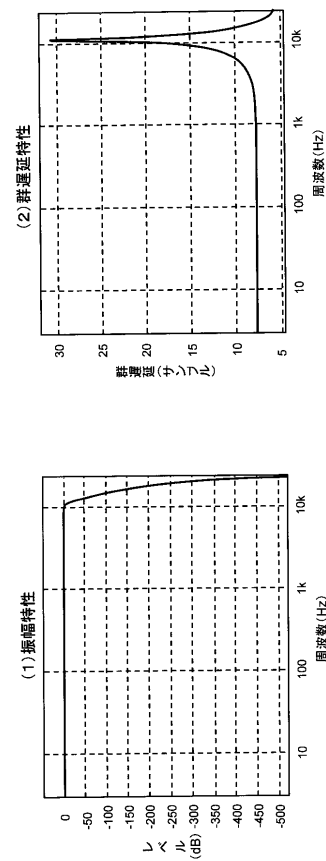
騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合: $\tau > T$



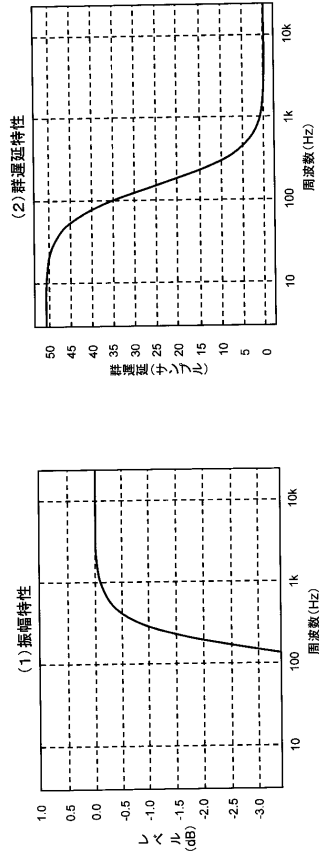
【図 48】



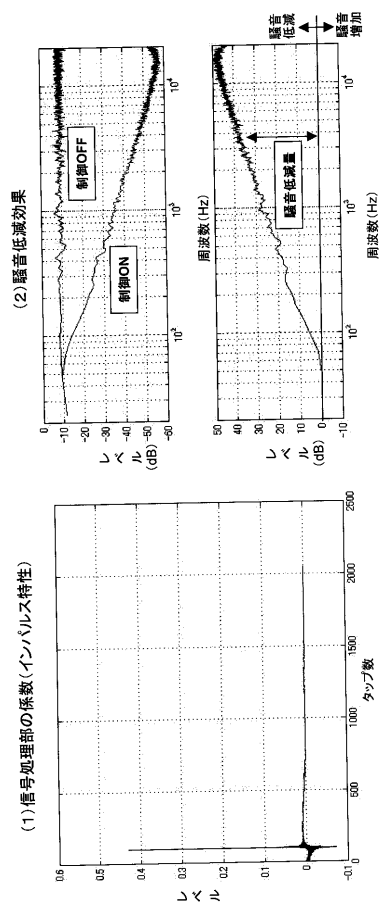
【図 49】



【図 54】

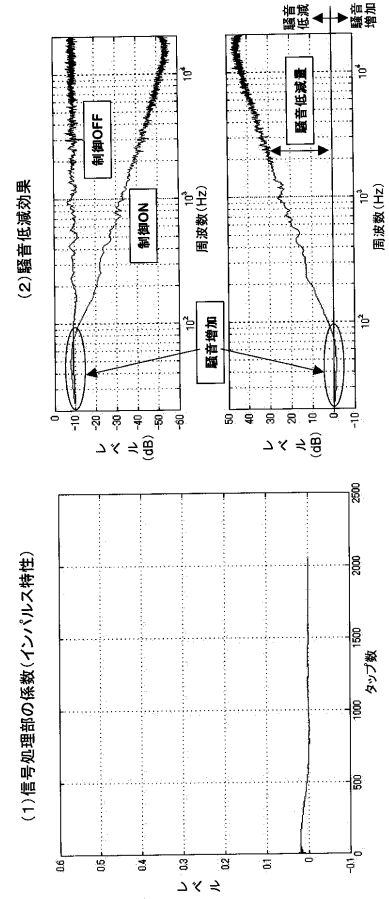


【図 56】



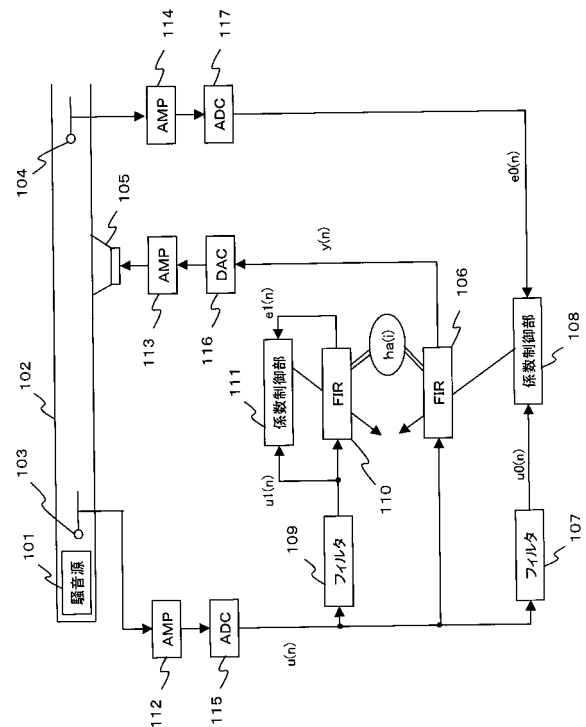
騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合う場合: $\tau + 2 \times \tau_4 \leq T$

【図 55】



騒音制御処理が騒音伝達時間内に間に合わない場合: $\tau + 2 \times \tau_4 > T$

【図 57】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 0 - 1 7 1 4 6 5 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 9 5 6 2 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 1 0 K	1 1 / 0 0 - 1 3 / 0 0
H 0 4 R	3 / 0 0 - 3 / 1 4
H 0 1 S	1 / 0 0 - 7 / 0 0