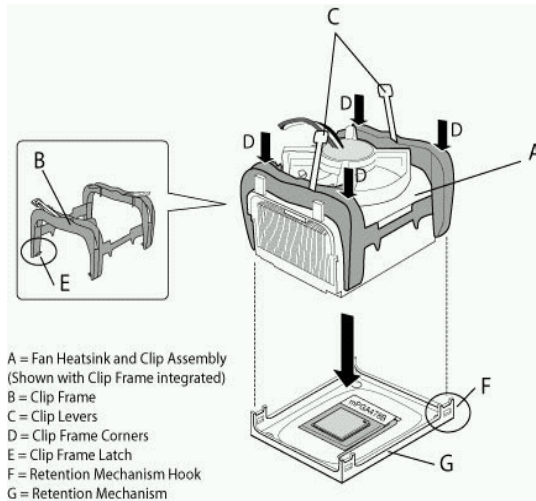

インテルに学ぶ
CPUの科学 その1
ATX PC静音化実験編



ファンつきヒートシンクの取り付け



マザーボード上のIT8712F
(ハードウェアモニタ、ファンコントロール機能に
キーボードやカードリーダーI/Fを統合している)

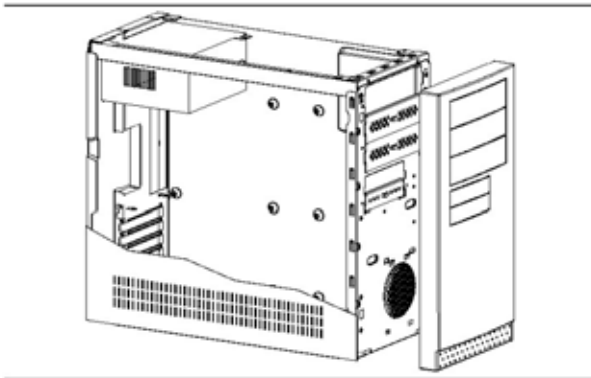
とりあえずの実験編

うるさいPC

こんなものだろうと気にしなければ、それまでである。しかし、うるさいのが当たり前ではないと気づくと、PCの騒音は気になって仕方がないものだ。しかし、むやみに何をやってもいいというものではないはずだ。まずPCの現状を把握しよう。

ATXフォームファクタ

現在アマチュアが自作するPCの主流はATXという規格に則っている。CPUなどが載っているマザーボード(主基板)の大きさ、ケースへの固定に使うネジ穴の位置、I/Oパネルの位置と大きさ、拡張スロットの位置、電源の仕様などがインテルによって規定されている。インテルはCPU周り主体のメーカーである。それ以外の構成部品は他メーカーがまかなっているのだが部品・基板は規格にそったものなら、自由に組み合わせて使うことができる。



Baseline Chassis Platform

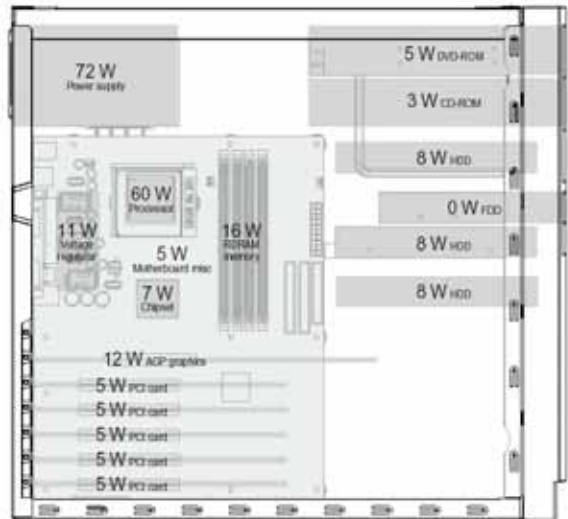
ATX タワー型ケース

IntelのPerformance ATX Desktop System Thermal Design Suggestionsより

ATX PCのケース内電力

ケース内の電力損失を想定した例である。損失はPCがほとんど仕事をしていない(アイドル)状態と最大限働いている状態とでは差がある。ここではDVDROMドライブ、CDROMドライブ、ハードディスク2台、AGPカード、拡張ボード5枚が組み込まれ、フル装備状態である。CPUは最大限の負荷がかかり損失が大きな状態である。CPUの60Wはペンティアム4やセレロンの2.4GHzに相当する。電源の72Wは250W電源の効率が70%で損失は75Wなので、このあたりが想定されている。

数10Wの損失、ここではCPUと電源が該当すが、に対してはファンによる強制冷却が不可避である。IC、そして、トランジスタなどの半導体、電解



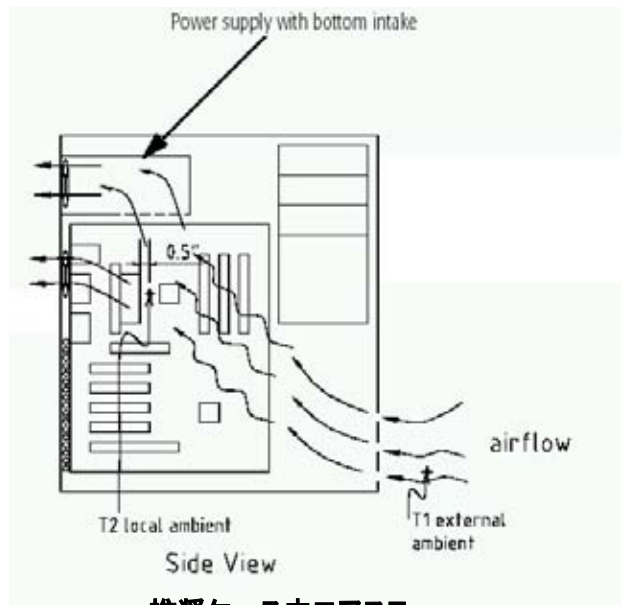
ケース内電力想定例

IntelのPerformance ATX Desktop System Thermal Design Suggestionsより

コンデンサなどの使用時周囲温度はせいぜい80~100 である。ファンで冷却しなければ構成部品の温度を所定値以下に収めることはできない。

冷却ファンつき部品が増えている、画像表示用AGPカードで数10Wと損失の大きなものでファンがついている。チップセットやCPU用レギュレータ然りである。そうしてみると大小とりまぜて数個のファンが1台のPCのなかで動いていることになる。ファンは騒音を伴う。口径が小さいファンほど回転数が高いので騒音も大きくなる。

ATX PCのケース内と放熱(エアフロー)



推奨ケース内エアフロー

AMD Thermal, Mechanical, Chassis Cooling Design Guideより

PC内で200Wをこえる損失が発生すれば、これを外部にうまく逃がしてやらなければならない。

これがケース内の熱を効率的に外部に逃がすためのエアフローである。下部から外気が取り込まれてケース内を上向きに流れる。CPUなどから放散された熱はこの流れによって、ケース背面のファン、そして、電源ファンとによって外部に排出される。インテル、AMDともに同じような冷却の仕組みが資料に載せている。

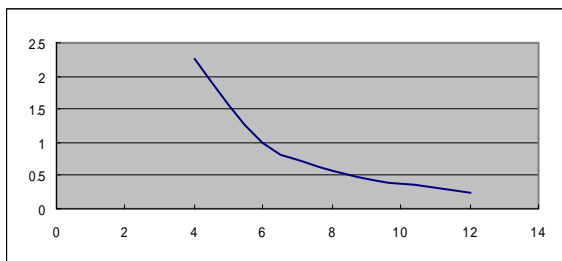
騒音源はファンである

PCのふたを開けて何がうるさいかを確認してみると、まず気になるのがCPUクーラーのファンである。



ペンティアム4用CPUクーラー
CPU標準添付品(左)とIHC-L71
(いずれも6cmファン使用)

音は静かにするために回転数を下げればいい。しかし、風量は減ってしまい、冷却効果は落ちてしまう。同じ風量を得るには口径の大きなファンなら回転数を下げられる。CPUファンが6cm径のところを8cmにすれば(6/8)の2乗で0.5625倍、12cm径では(6/12)の2乗の0.25倍に回転を落とせる。6



ファン口径(cm)

6cm口径ファンを基準にして口径が違ったときに
同一風量を得るための回転数比

cmファンで4,000rpm(毎分4,000回転)であれば8cmなら2,250rpm、12cmでは1,000rpmで済むことになる。2,000rpmを切ればかなり静かになるのだが、ファンがなければもっと静かになるだろうと、だれしも考えることである。静音化というのはきりがないのである。

毛色が変わったケース Cooler Master ATC201

ほとんどのメーカー製を含めたデスクトップPCは先のようなエアフローを念頭においている。ところが、このケースは趣が違っているのである。考えてみると理にかなったもののような気がした。もしかしたらCPUファンを回さないでもいけるかも知れない。

このケースの変わっている点は次の通りである。

1. CPU冷却用として背面からダクトが設けられていて、その先にはCPUに対向して12cmファンが取り付けられている。
2. 排気ファンが背面ではなく上面に取り付けられている。
3. 通常外気の取り入れは前面下側が主になるのに対して背面のみである。

12cm大口径ファンでダクトを通して外気を取り入れてCPUを冷やし、温まった空気は上昇するのでこれを上面から逃がすそうという設計のようだ。背面からしか外気を取り入れてはいないのは気にはなるが、十分な量を取り入れられれば、これでもいいような気がした。

ペンティアム4 2.4GHzでファンを停止してダクトファンの効果を確認してみたら

6cm径CPUファンをダクトに取り付けられた12cmファンを低速回転させて代用できないかを試みた。準備段階で2点問題があった。もともとの12cmファンだが型番がFD1212253S-IIで1,800rpmのスリーブファン(軸受けがボールベアリングではない 一般にうるさい)である。試しに回してみるとアルミ製ダクトが共振してすごい音がする。ファンを大口径にして騒音を抑えようとしているのに、これでは逆効果である。1,000rpmのボールベアリング用品を買ってきて取り替えた。もう1つの問題点は買うときにも気になったのだがダクトの外側に取り付けられた12cmファンがCPUクーラーにぶつかってしまうのである。CPUファンは外そうとしても、取り付けメカと一体なので外すことができない。考えた末に12cmファンの



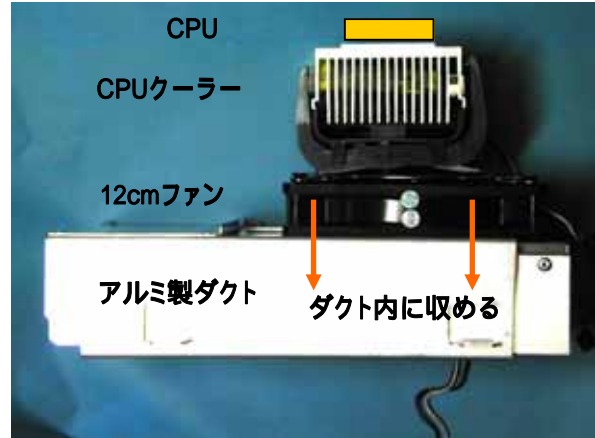
CPU冷却用ダクトつきATC201



取り外した12cmファンつきCPU冷却用ダクト



上面の排気ファン



ダクトとCPUクーラーの位置関係

方をダクトの中に無理やり組み込んで出っ張りをなくした。

CPUファン回転を停止させ、代わりに12cmを回してみた。結果は期待を裏切るものだった。12cmファンを吸気と排気のいずれの向きに回転させてもCPU温度を下げる効果はまったくなかった。簡単な実験ではあるが、CPUファンを止められないことは明らかだった。手をつこんでCPUあたりの温度を探ってみると12cmファンの風は散ってしまった感じでCPUには届いていない感じが感じ取れた。

ダイ温度、ファン回転数、電源電圧のリアルタイムモニター

CPUをはじめとする大多数の半導体の動作時最高温度は100 から200 の範囲に規定されている。この温度を越えるた使い方をすると半導体は寿命が短くなったり、壊れてしまう。したがって使用時のチップ温度(ジャンクション温度)が最高で何度になるかを知ることが半導体を安全に使うために重要である。後述するように熱抵抗と電力損失とから計算して最高温度を見積もることが広く行われているが、あくまで最高を見積もっているのである。対象以外に熱源があって、この影響を受ける場合にこれを勘定に入れることは難しい。また、過渡的な温度変化を追うのも難しい。

CPUには、それ自体に温度センサーが組み込まれていてウインドウズ動作時にでもリアルタイムでCPU温度がモニタできる。先のダクトファンの効果がないと判断したのもCPU温度の変化を直接見られたからである。

さらにファン回転数、マザーボードに供給される電圧までリアルタイムモニタの対象となっている。

写真はASUSとMSIのモニタ画面である。見掛けは違っても内容は同じである。CPU温度が上がればファン回転数も上がるといった動作状態が手にとるように伝わってくる。ファン回転数と電圧が表示されるのはそれほど難しいことではない。システム(マザーボード)温度はサーミスタが基板に載せられているので、これも表示できる。しかし、CPU温度はどうして見れるのだろうか。確かめて見たくなった。



ASUS Probeの表示
(この他に温度、ファン回転数、電源電圧のモニタ画面に切り換えることができる)



MSI PC Alert4の表示

メインと実験用サブ機の内容

それでは要所さえ押さえればCPUという大きな電力が発生するパワー半導体をだれでもが扱える仕組みを解き明かしていきたい。これはCPUをはじめとするパワー半導体や電子部品の信頼性、寿命の考え方を理解することでもある。

まずはうまくいかなかったペンティアム4 2.4GHzをCPUファンを回さないで動かしてみた

い。2台のデスクトップPCを使って話をすすめていく。常用しているものと、実験用として用意したものの2台を使う。各々No.1と2として、これらの概略構成は表の通りである。2台はCPU周りの発生熱量は同じであるが、No.2は実験がしやすいように最小の構成とした。この表の下3行は冷却

	No.1	No.2実験用
ケース	Cooler Master ATC201 (アルミ)	NEON light (スチール)
電源	ENERMAX EG365P-VE FCA PFCなし	ENERMAX EG365P-VE FCA PFCつき
マザーボード	ASUS P4G8X Deluxe (チップセットはE7205)	MSI GNB MAX L (チップセットはE7205)
CPU	ペンティアム4 2.4GHz	セレロン2.4GHz
CPUの熱設計電力(TDP)	59.7W	59.7W
CPUのFSB	533MHz	400MHz
メモリ	DDR 256MB 2枚	DDR 256MB 2枚
AGPカード	RADEON9000 ファンなし	ASUS V7100 (GeForce2MX440 32MBファンつき)
ROMドライブ	DVD-RとCD-Rの2台	DVD-ROM 1台
ハードディスク	80GB 7200rpm 2台	80GB 7200rpm 1台
その他のドライブ	FDDとSCSI MO各1台	FDD
拡張PCIカード	TVキャプチャー、SCSI	なし
その他		サーミスタにより4点の温度測定可能 1つのファンの回転数調整と表示が可能
CPUクーラー	Cooler Master IHC-L71 (軽負荷時 CPU ファン 回転数は約1,700rpm)	ファンなしのCooler Master Zero4を特製ダクトを介して1,650rpmの8cm
吸気ファン	なし	前面パネル下側の低速回転(1,000rpm)8cmファン
排気ファン	上面の1,700rpmの8cmファンと電源ファン(手動で1,800rpmに固定)	上記CPU用と電源ファン(手動で約1,800rpmに固定)



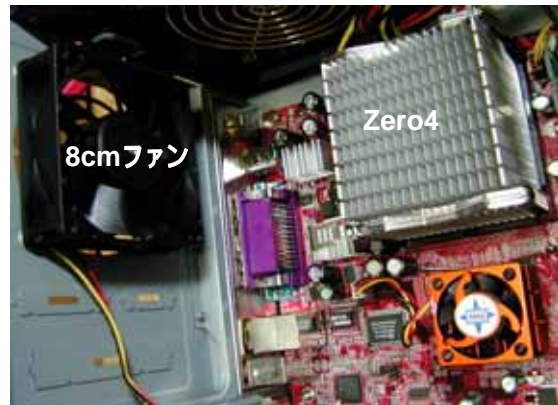
常用パソコン(左側 No.1)と
実験用パソコン(右側 No.2)
(いずれも自作)

に関する設定である。

実験用No.2を自冷ヒートシンクで動かす

なぜATC201付属のダクトファンでうまく冷却できなかったか？ 要はCPU発熱を効果的に外部に逃がせなかったからである。問題を解決するためにCPUヒートシンクを覆うようなフードを用意してケース背面の8cmファンで排気することにした。

秋葉原に何回か足を運んでやっとできたのがこれである。使えそうなものを買集め、組み合わせを考えるのだが、なかなかうまくいかなかった。悩んだ末に右側のフードのつめと接合部の一部をニッパーで切り落としてBadongのダクトに押し込み無理やりネジ止めたのがこれである。このフードが自冷(ファンなし)CPUヒートシンクZero4



自冷ヒートシンクZero4とケース背面の8cmファン



CPUヒートシンク冷却用フードとダクト

を覆うように組み込んだ。
このようなセットアップで安定動作できるかを試



ダクト&フードの組み込み

した。CPU負荷がほぼ100%となる7byteのHot CPU Tester Pro 3*を連続動作させた。8cmファン回転数は音が気にならない最低回転数である1.650rpmとした。温度測定はMSI PC Alert4による。

*(<http://www.7byte.com/index.php?page=hotcpu>)

PC No.2

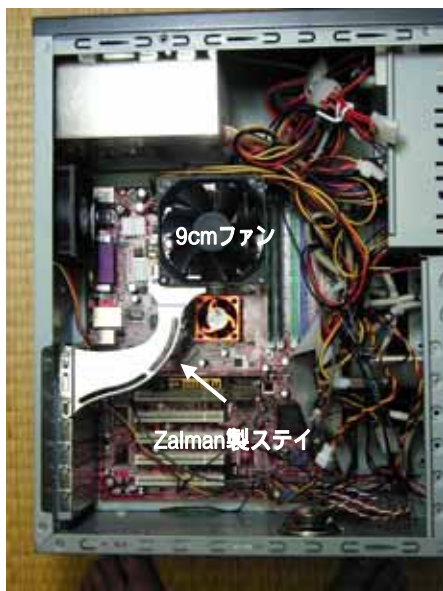
室温 26 、ケース内温度 28
CPU温度 65 ~ 66 で飽和(約10分)
SYS温度 38

なおアイドル時(ウィンドウズが立ち上がり、なにもしていない状態)は

CPU温度 48
SYS温度 36

であった。この状態で温度はぎりぎり限界に近く、夏場さらに室温がさらに高くなると厳しそうだが、何はともあれCPUファンなしで動かすことができた。動作音は十分に静かである。

少し趣は違うがもう1つ試してみた。ダクト&フードを取り外し、代わりにZalman製ステイFB123に取り付けた9cmファンの風が直接ヒートシンクに当たるよう取り付けした。動作試験の結果は次の通りである。このときのファン回転数は1,600rpmであ



9cmファンによる自冷ヒートシンク冷却
る。

PC No.2

室温 26 、ケース内温度 28
CPU温度 63 で飽和(約10分)
SYS温度 40

また、アイドル時は

CPU温度 46
SYS温度 34

でダクト使用時よりCPU温度は下がった。このセットアップの動作音は前例の同程度な上に、安くて簡単にセットできる。ダクトにこだわったがこちらのほうがよさそうだ。

オーバークロックをしてみたら

お遊びついでにマザーボード付属のFuzzy Logic 4というソフトで、この2.4GHzのセレロンがどのくらい高い周波数まで動作するかを試してみた。動作周波数に比例してCPUの損失が増えるのでCPUを壊す恐れがあるのでオーバークロ



Fuzzy Logic4による2.4GHzセレロンのオーバークロック (3.144GHzで動作)

クは危ない遊びである。

冷却系はダクトつき8cmファンと自冷ヒートシンクである。画面上でクロック周波数が次第に上昇していき、これに伴いやかんが回転するようなグラフィックの動きが速くなっていく。グラフィックが表示される理由は、このCPUは温度がある線を越えると間引き動作に移行してさらに温度が上がらないようにしてしまうからである。つまり画面上の周波数は上がっても実質上の周波数が下がることがあるので、こんなことが起きていないかを視覚的に確かめられるようにしあるのだ。

止まったところは3.144GHz。これがこの2.4GHzセレロンのコア電圧1.47Vのままで限界だった。規定より30%速く動き、CPU温度は52 まで上昇した。特に不安を感じることなく、こんなことができるのは、後述するような2段階のCPU保護機能のおかげで壊れることはまずないからであ

る。

スเปアナによるノイズレベル測定

人間の耳は測定器に勝り、うるさいかどうかは耳で判断するのが一番である。それはそれとして相対的定量化をしてみたい。といっても騒音計があるわけではないので、オンボードサウンド(C Media)、ありあわせのマイク、そして、ソフトウェアスぺアナで騒音レベルを比較した。

マイクはPCに向かった時に耳の位置に近いところとしてディスプレイの上に置いた。PC2台はマイクの右下に位置する。スぺアナソフトとしてフ



騒音測定用マイク

リーソフトWave Spectra (<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/>)を利用させてもらった。

まずマイク入力をショートして測定系の残留雑音を測定して、これは各々のグラフで基準となるように緑で示してある。各グラフでこの基準との差が騒音である。残留雑音を含めて測定はすべて60回の平均化している。これらの測定結果ではdB表示のために、うるさい、うるさくないはそれほど大きな差としては現れていない。しかし然るべき差があることは認められる。

これらの測定結果は残留ノイズが-80dB位とお起きのが幸いして？差が分かりやすいのだが、残留ノイズがより小さなPCI接続のサウンドカードを使って同様の測定もしてみた。50Hzとその高調波が気になるので、マイクとして手持ちの3種を入れ換え、マイクの位置もいろいろ変えて測定してみた。しかし結果は大同小異だった。PCIカードの残留ノイズレベルは20dB程度低いのだが、グラフ上での差が分かりにくくなった。せっかくPCがあるのだからこんな遊びもおもしろいからと紹

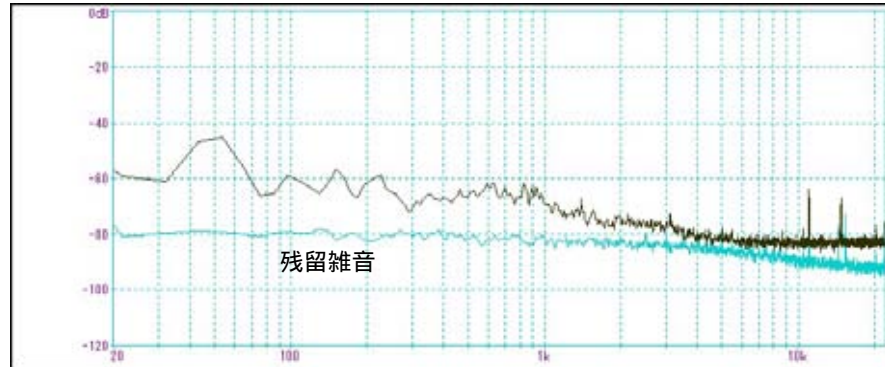
介した次第である。

これはいける思ったATC201というケースだがまったくの思い違いだった。ケース内暖気を真上に抜くのが合理的かと思いきや、これではファン回転音がもろに耳障りである。それに開口部を通して内部CPUファンなどの音も漏れ出してくる。やはり排気ファンは背面にある方がよさそうだ。そのためかどうかは定かではないが同シリーズ後継製品はありきたりの方法に戻っている。

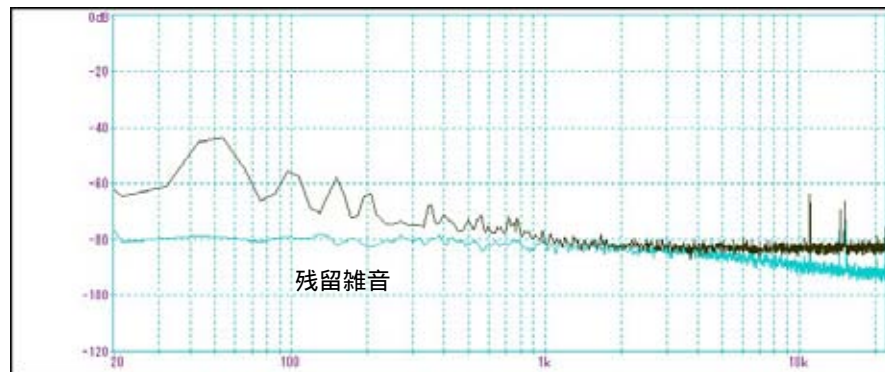
さてウォームアップを兼ねたお遊びはこのあたりにして本論に移りたいと思う。

スเปアナによる騒音測定結果 (オンボ - ドサウンド機能利用)

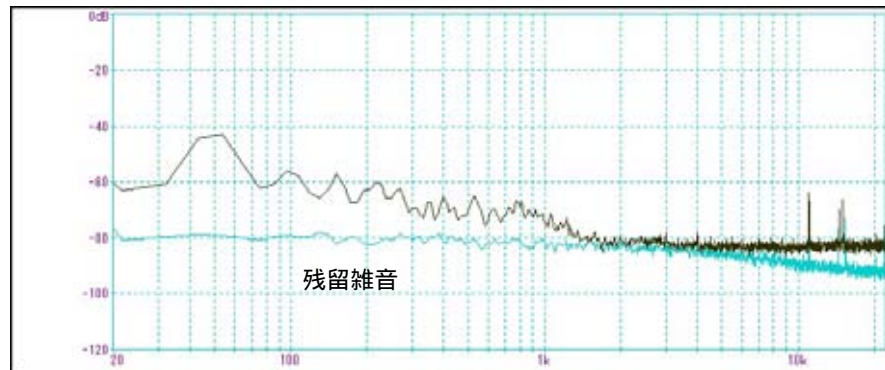
換気扇、空気清浄機、エアコンを最強で運転(最大限うるさい状態)



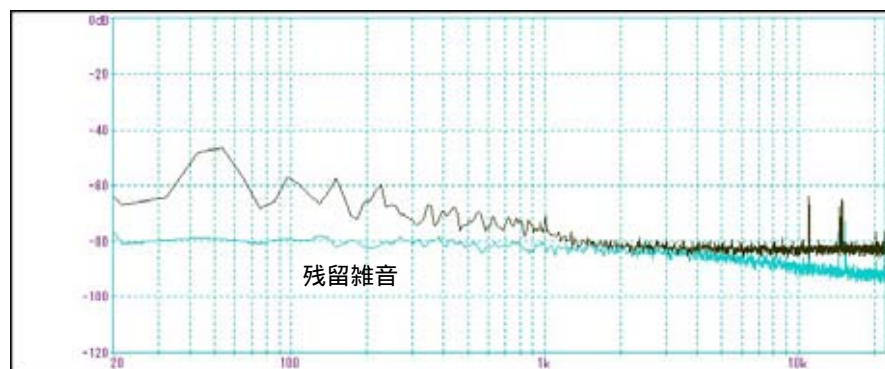
No.2パソコンだけを動かした状態 (騒音は気にならない状態)



No.2と動作時にNo.1起動させる (かなりうるさく感じる状態)

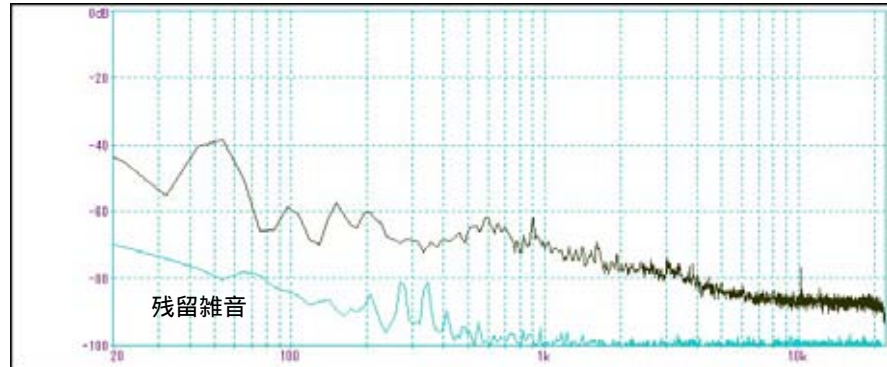


No.2とNo.1ともに定常状態で動作 (まあ静かと感じる状態)

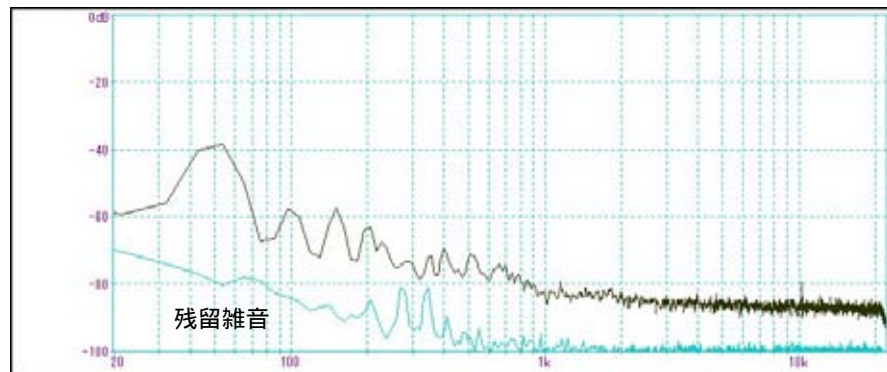


スเปアナによる騒音測定結果 (PCIサウンドカード利用)

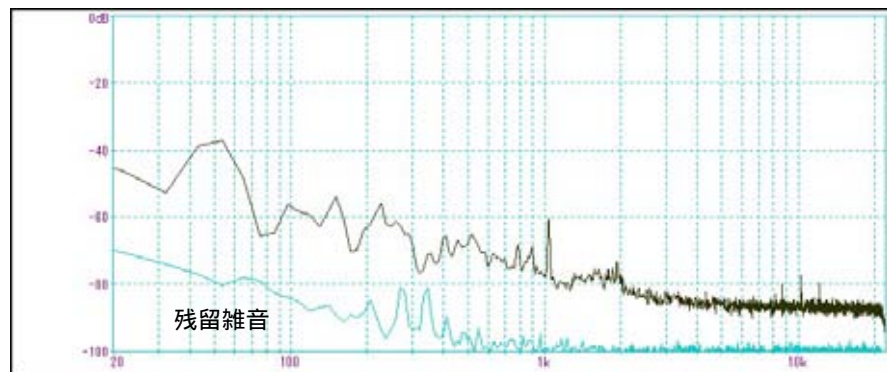
換気扇、空気清浄機、エアコンを最強で運転(最大限うるさい状態)



No.2パソコンだけを動かした状態 (騒音は気にならない状態)



No.2と動作時にNo.1起動させる (かなりうるさく感じる状態)



No.2とNo.1ともに定常状態で動作 (まあ静かと感じる状態)

