

鑄鉄の「制振&整振」技術がもたらす理想の音づくりへの音響用製品の開発

廣瀬新吾 澤田正治

アイシン高丘(株)

鑄鉄の持つ振動減衰性能に着目し、鑄鉄と音及び音楽との関係性について研究開発を進めてきた。不要振動を除去することにより、ピュアオーディオ再生が可能な音響用製品をビジネス展開した。

1. はじめに

「TAOC」(Takaoka Anti Oscillation Casting (高丘制振鑄物))は、アイシン高丘株式会社のハイグレード・オーディオブランドである。当社は、自動車用鑄鉄部品のトップメーカーとして、半世紀にわたり鑄鉄の特性やその鑄造・加工に数多くのノウハウを蓄積してきた。特に鑄鉄の持つ振動減衰特性とオーディオとの相性にいち早く着目し、開発したのがハイグレード・オーディオアクセサリーである。

「振動を制するものはオーディオを制す」をコン

セプトに、TAOCは音楽と振動の関係に愚直にこだわり、30年以上に渡ってオーディオファンに使い続けられている。

現在、オーディオラック、オーディオボード、インシュレーター、スピーカースタンド、スピーカーベース及びスピーカーシステムの6アイテムの商品群がある。

いずれも、鑄鉄の持つ減衰特性を活用した商品ラインナップを揃えている。

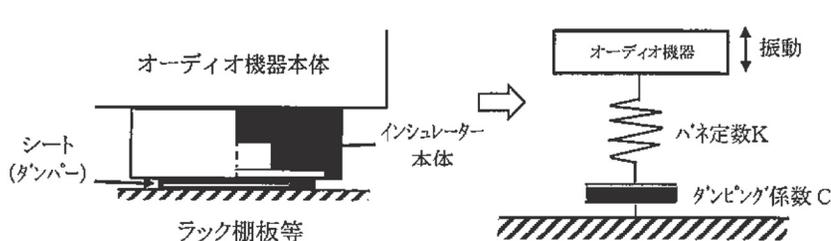
2. 鑄鉄と音及び音楽との関係性

では、この鑄鉄と音楽との相性を分かりやすく伝えるにあたり、商品群であるインシュレーターを代表例として説明する。

まず、インシュレート (Insulate) は英和辞典で引くと「隔離する」「孤立させる」「遮断する」とある。オーディオでの使われ方に当てはめた場合、インシュレーターはまさにその役割を担うものであるが、もう一つの大きな役割として、オーディオ機器の自励振動を吸収することである。この役割の方がむしろオーディオの音質向上には大きいと考えられる。「吸収する」は英訳するとアブソープ (Absorb) である。むしろオーディオアブソーバーと呼ぶべきかもしれない。

TAOCでは、今から37年前の1983年に初めてスピーカーベースを発売したところ予想以上に好評を得た。その2年後に、同じ鑄鉄素材で作ればいだろうというのがきっかけで、インシュレーターを発売した。

インシュレーターの形式には全て「TITE」が付いている。TITE (タイトと呼ぶ) というのは Tone Innovation Tee の頭文字を取ったもので、直訳すると「音色を革新する台座」と言うことになる。我々も開発を進めるにあたり、「なぜ、どんなことが、どんな材質が音に良いのか」を追及して行く中で、その結果として鑄鉄こそが「遮断」と「吸収」の2つの役割を両立できるベストな材質であることを確信した。



・オーディオ機器のアシ（インシュレーター）は、この図の様にバネ定数 K 、ダンピング係数 C を持つサスペンションであると考える。
 ・上記 K 、 C の大小組み合わせにより音像の性格が変わる。

図1 インシュレーター等価回路

著名なオーディオ評論家によれば、インシュレーターの原理は粘弾性による振動の吸収であり、粘性はオイルの性質、弾性はばねの性質、この2つを組み合わせたのが粘弾性で、振動を熱エネルギーに変換して吸収するという説だ。

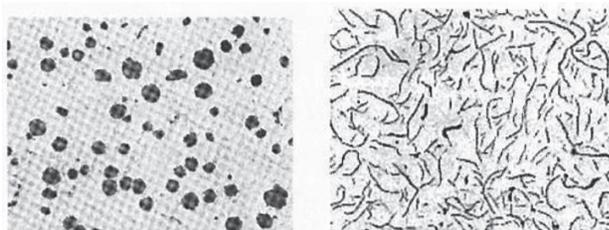
これらについて図式化すると図1のようになる。

一般的に鑄鉄は、その含有する黒鉛によって金属剛体のもつ振動遮断性と、粘性体を持つ振動吸収性の両方を持つ材質として大変優れていると説明できる。

◆ 鑄鉄について ◆

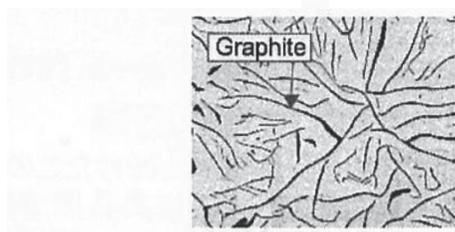
鑄鉄は黒鉛の形状と量によって減衰性をコントロールできる。

- ・球状黒鉛鑄鉄（ダクタイル鑄鉄 FCD450）
強度と靱性を上げるために黒鉛が小さな球状になるように作られた鑄鉄。減衰性は鋼に近い。
- ・片状黒鉛鑄鉄（普通鑄鉄 FC200）
一般に鑄鉄というとこれを指す。後に示すように黒鉛はキャベツの葉を1枚1枚剥がし、ランダムに並べた構造で含有される。



球状黒鉛鑄鉄

片状黒鉛鑄鉄



高炭素片状黒鉛鑄鉄
（ハイカーボン鑄鉄）

図2 鑄鉄の金属組織

（図2の組織写真で黒くて細い線が黒鉛）

・高炭素片状黒鉛鑄鉄（ハイカーボン鑄鉄 FC100）
片状黒鉛鑄鉄のキャベツの葉が大きくなったものと考えればよい。

（片状黒鉛鑄鉄の黒鉛よりも線が太く長いのがわかる）

2. 1 音質に影響を与える不要な振動

不要な振動は、以下の3つに分類できる。

a. オーディオ機器内に交流電流が発生することにより生じる自励振動

回転構造を有する機器の回転や、アンプなど増幅機器では大きなパワーによる交番電流という振動源を有しており、この振動源に起因する反力によりオーディオ機器は機械的な振動を起こす。

b. 外部からの振動の伝播

オーディオルーム内は音楽を鳴らすことにより、スピーカーから発せられる音波や振動によりオーディオ機器に伝わる。

c. 機器内での音楽信号への変換に伴う音楽的な振動

音楽信号の流れの強弱、増幅の大小の伝わりを汲み取る音。

前述したa項～c項についてさらに詳しく説明する。

a項については、振動を吸収するか逃がさないようにしないと、振動が更に重畳し増幅してしまう。例えば、柔らかい材料のゴムのようなものは、振動を吸収して他への伝達することは防止できるが、機器自体の揺れは解消できない。洗濯機の下に防振ゴムを敷いた状態を思い浮かべれば分かると思うが、機器自体の揺れを収めるには伝えて逃がす役目も必要である。その振動を吸収しながら伝達する性質を鑄鉄は持ち合わせている。

鑄鉄の振動吸収性能（一般には振動減衰能）は、鑄鉄の中に含まれる黒鉛によって発揮される。鑄鉄中の黒鉛の構造は図3に示すようにキャベツの葉を

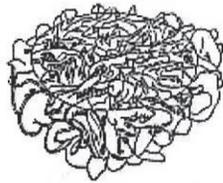


図3 鑄鉄中の黒鉛構造¹⁾

剥がしランダムに並べたような構造になっており、この黒鉛と鉄の部分の摩擦によって振動エネルギーから熱エネルギーに変換される。これが鑄鉄の大きな特徴であり工作機械のベースや自動車のブレーキローターに鑄鉄が使われている理由である。

b項については、遮断してやることを必要とする。遮断するにはある程度の質量が必要なことは想像できる。薄い、小さい、軽いものよりも、厚くて、大きく、重い方が、叩いた時に反対側に伝わる衝撃の大きさは小さくなるのが経験的に理解できる。更に、伝わる道を狭くするピン構造は有効な手段である。

c項については、最もオーディオ的な見方である。音楽信号による振動、いわゆる音楽に関する信号と、そうでない振動に対しての相性、すなわち音楽に関らない振動を極力排除してS/N比を向上させること。この音楽を活かすということが、TAOCの「整振」という考え方である。「整振」は、TAOCが初めて使った言葉だと自負しているが、これに辿り着くまでには長い年月と音楽との関わり合いを要した。

そして、その性質を実現する材料として鑄鉄、言い換えれば黒鉛を多量に含んだ鉄こそが最もマッチングすると分かった。

2.2 音像とインシュレーターの特性ととの関係

2.1項で述べたことを念頭に置き、これまでの経験から得られた「音像とインシュレーターの特性」との関係性を述べる。評価は聴感による音像の全体印象に対してインシュレーター材質の特色を次の評価項目1)～4)に結びつける。

[聴感で評価する項目]

- 1) 音像の厚み・・・音像がドッシリしている。音が軽くない。
- 2) 音像の広がり・・・2個のスピーカーの外側まで音像が広がる。
- 3) 低・中・高音のエネルギーバランス・・・広域に雑味がないか。
- 4) 音像の解像度具合・・・音源の定位。音像がだんごになってないか。

この評価基準を満たすためには、以下の条件が必須となる。

a. 密度が高いものであること

音像に厚みが増す。音がドッシリしている。音が軽くない。

鑄鉄、亜鉛、黄銅、鉛、鋼等が該当し、これらの金属をインシュレーターに用いると音に厚みが出せる。アルミニウム、マグネシウム、樹脂類、ガラスは、密度が低い。これらは、音に厚みが出せない。音像の解像度が低い。

b. 硬度の高いものであること

音の立ち上がりを改善しソースの信号に対応した元気のよい音になる。

また、低音のボケが改善される。

鑄鉄、銅、ガラス、セラミックス等が該当する。但し、ガラス、セラミックス(Hv1,000)は音の立ち上がり感が良いが密度では該当しない。

また、亜鉛、鉛については硬度では該当しない。

c. 外力が加えられた時の内部損失による減衰性振動を早く収めて増幅させない。自己の振動をオーディオ機器本体に持ち込まない。

銅、ガラスは、残響を音に持ち込むので不可である。青銅、黄銅など銅系金属は、残響を出しやすい。教会の鐘、梵鐘などは青銅製である。

マグネシウムは、片状黒鉛鑄鉄の2～3倍の減衰性を有する。

密度が低く音の厚み、音像の解像度は得られない。

以上を整理してみると、

- ・密度：鉛>黄銅>亜鉛≒鋼≒**鑄鉄**>アルミニウム≒ガラス≒セラミックス>大理石>マグネシウム>樹脂
- ・硬度：セラミックス≒ガラス>鋼≒**鑄鉄**>黄銅>亜鉛>マグネシウム>アルミニウム>鉛>樹脂
- ・減衰性：マグネシウム>亜鉛≒**ハイカーボン鑄鉄**>鉛≒**普通鑄鉄**>鋼>アルミニウム>黄銅>セラミックス≒ガラス・・・(図4、図5)

これをみても鑄鉄が3拍子揃った材質であることが分かる。我々の強みは、オーディオとの相性を聴感上で確認しながら、オーディオ用に材料を選定して組み合わせることができるということである。

さて、ここまでは、材質としての物理特性について述べてきたが、オーディオとの相性ということでは、もうひとつ重要な要素がある。それは、鑄鉄の材料には特有の音を持たないということである。材料特有の音は、オーディオの音に重畳してしまう。響かない材料でも独特な芯を持つ音がある。この音を感じさせてしまうのがオーディオにおける奥深さと選定の楽しさでもある。

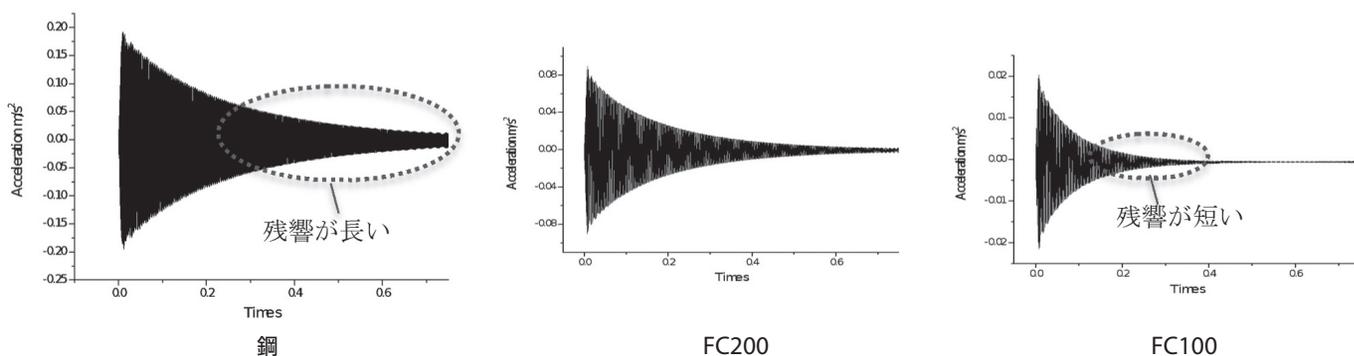


図4 鑄鉄の振動減衰特性比較²⁾

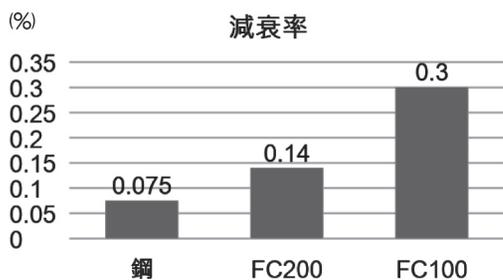


図5 鑄鉄の減衰率比較²⁾



インシュレーター
TITE-35S



スピーカーベース
SPB-300DH

図6 インシュレーター、スピーカーベース

これら特性を利用した商品を次に紹介する。

図6は、TITE-35S インシュレーターである。

特徴としては凸構造のインシュレーターと、凹構造のプレートインシュレーターとを合わせて使うピンインシュレーターである。それぞれの鑄鉄の減衰力と、ピン部の振動遮断効果により不要な振動を効率よく取り除く。

主に、スピーカー、CD プレーヤー等の下に敷いて使い、効果としては音の雑味感が取れ、バランスのある音質の向上が図られる。

次にスピーカーベース SPB-300DH を紹介する。

一般的に、スピーカーは床面に直接設置することが多いと思うが、音が鳴っている時にスピーカーの底面は内部からの音圧により大きく振動している。

そして、この底面からの反力が更に箱自体に返って



図7 TAOCスピーカー (AFC-L1)

しまい、スピーカーユニットへも振動として伝わってしまう。

これを解消するためにスピーカーの下に敷き、箱から出た振動を吸収しながら発散させることで、スピーカー本来の性能を発揮させることのできる商品である。

効果としては、低音域の音の輪郭がはっきりと際立ち、音像が明瞭となる。

大型スピーカーの醍醐味が更に堪能できることになる。

最後に、スピーカーへの応用展開を示す。TAOC

製スピーカーは、スピーカーユニットと筐体との間に鑄鉄リングを挟んだ構造をとっているのが特徴である。スピーカーユニットから発せられる振動を極力筐体に伝えないようにすることがその目的である。更に、鑄鉄リングの制振性によりスピーカーユニットの歪が抑えられるため、コーン紙がリニアに摺動し本来の音楽信号が出せるようになる。まさに、理想のユニット化であり、濁りの無い音そのまま発せられる。

その結果として、音の輪郭がカチッと、音像や音の低位感をはっきりと表現する。

3. 鑄鉄粉の応用

さてここまでは、インシュレーターを題材とした話を進めてきたが、TAOCの商品群には、鑄鉄粉を活用し振動吸収性能を上手く使った商品がある。

まず、鑄鉄粉とは、鑄物を造型したあと、鑄型から出た砂を再生する際に磁気選別処理をできたものである。粒度、密度の規格を決め、厳選されたものだけをオーディオ用に用いる。表面は黒鉛が付着しており、触るとすぐに手が黒くなってしまう(図8)。これが振動吸収に大きく作用する。例えて言うなら、砂漠の砂に水を垂らした時に水がスーッと吸収してゆくように、音の振動エネルギーは黒鉛とぶつかりこすれ、熱エネルギーに変換して音は消えてゆく。また、鑄鉄粉に含まれる鉄により音の発散も発生する。この性質が、オーディオとして用いるときに重要なファクターであり、「適度な吸収」と「適度な発散」の組み合わせに至る。

通常、オーディオラックはCDプレーヤーやプリメインアンプなどを載せて使うが、先も述べたように機器自体の自励振動やスピーカーから発せられる直接音により、オーディオラックは常に揺れている。そこで、このオーディオラックの棚板に鑄鉄を使った振動抑制ができないかと考えた。



図8 鑄鉄粉

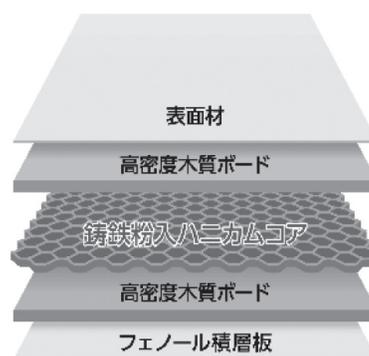


図9 鑄鉄粉ハニカムボード



MSR オーディオラック CSR オーディオラック

図10 オーディオラック

図9は、鑄鉄粉ハニカムボードである。我々は、中心部に鑄鉄粉を敷き詰めて高圧プレス成型したハニカムコアがあり、音質的な響きをコントロールするために高密度木質ボードをサンドした5層構造のボードを開発した。これらは、CSR/ASR III オーディオラックやオーディオボードなど、多数の商品に採用されている。

この鑄鉄粉ハニカムボードについて性能評価をする。比較対象としては、TAOC製オーディオラック群でのエントリーモデルのMSRオーディオラック

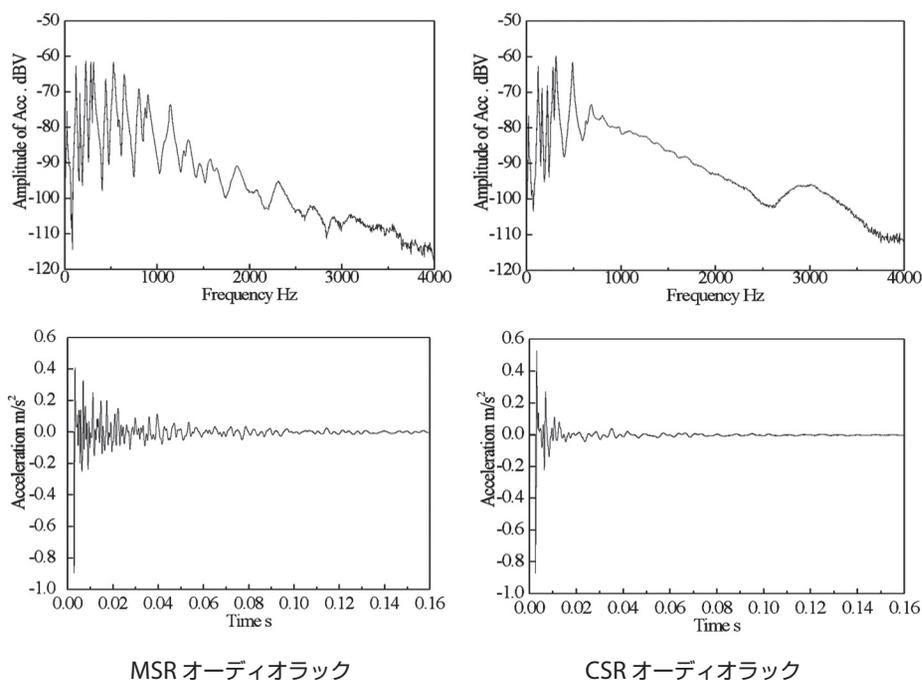


図 11 オーディオラック振動特性比較 (上段：周波数応答特性、下段：残響特性)²⁾

と、ハイエンドモデルである CSR オーディオラックの減衰特性について比較評価した。

MSR オーディオラックは、振動減衰機能を有する鑄鉄製脚部を採用しているが、各棚板は単板構成である。CSR オーディオラックは、鑄鉄粉ハニカムボードを棚板とした構造になっている (図 10)。

図 11 は、上段が周波数応答特性、下段が残響特性を示す。

特徴的なのが、上段の周波数応答特性において、MSR ラックの方が 1,000Hz 以下のバタつきが大きいことがわかる。それより高い周波数も収束できず振動している。残響特性においても、減衰率が小さいほど収束時間が長くなっているのがわかる。

言い換えれば、鑄鉄粉ハニカムボードを採用した CSR オーディオラックの方が、振動の収束は早期に収まっている。これは、我々が開発するうえで、音を良くする重要なファクターとして「音の立ち上がり」と「音の立ち下り」の特性について着目することが必須条件にある。

まさに、鑄鉄の振動吸収能力は、この条件を満足していることが分かる。以前、この CSR オーディオラックを大手レコーディングスタジオに導入したとき、エンジニアから録音に対する音作りが非常にやり易くなった、CD を作成するための基準クロック装置の周波数安定性が非常に良くなったなど好評価を頂いた。我々の提唱する「制振 & 整振」を、まさに確信した次第であった。

もうひとつ、鑄鉄粉の応用商品がある。それは、挟む構造ではなく支柱に鑄鉄粉を封入した商品であり、オーディオラック用支柱やスピーカースタンド用支柱に展開している。封入された鑄鉄粉により微細な振動が吸収される特殊な支柱構造である。

図 12 は、応用商品としての例である。

CSR オーディオラックは、各支柱に鑄鉄粉を封入した構造を採用している。BST スピーカースタンドについても、中央の支柱内に鑄鉄粉を封入した構造をとっている。これら封入する量については、我々が開発段階であらゆる音楽を聴き、量を加減しながら決めている。



CSR オーディオラック BST スピーカースタンド

図 12 支柱内に鑄鉄粉を封入した商品

4. まとめ

以上、鑄鉄の持つ優れた振動吸収能力における粘弾性と、鑄鉄粉の新たな発想による新商品づくりについて説明をしてきた。TAOCは、これら特性を最大限に活かした様々なタイプの商品をオーディオマニアに提供している。

普段、我々は様々な振動の影響を受けた環境で音楽を聞いている。鑄鉄のもつ特性を最大限に活かして不要な振動を取り除く工夫をすれば、本来の音を聴くことができる。お客様は、今まで聞こえなかった音が聴こえることに驚いている。

鑄鉄は本来、形状の自由度が高く加工も容易であるという性質を持ち合わせている。更に、鑄鉄の持つ「制振 & 整振」性能を活用する技術により、新たな市場開拓ができると信じている。

今後も、これまで以上に愚直に鑄鉄と音の相性について追及していく。

参考文献

- 1) H. Morrogh and W. Oldfield: Iron & Steel, 32 (1959) 431-439
- 2) 劉孝宏, 中江貴志: “オーディオ周辺機器における振動特性の評価と最適化”