



音を生かし、音を抑える 音と鉄の科学

川のせせらぎや風の音、会話や音楽、電話のベルに自動車のエンジン音、我々の生活は多くの音に満ちている。姿の見えない音は、聞く側の環境や心理状態により、快にも不快にもさまざまに表情を変える。心地よい響きを持つ鉄は古代から楽器として愛用されてきた。また、現代では、不快な音を抑える働きとしても鉄は活躍している。さまざまな表情を持つ音と鉄との深い関わりをご紹介します。

音響測定、楽器の調律などに用いる音叉(Tuning Fork)は一般的に炭素鋼が使用され、基準となる周波数(通常は440Hz)を発生する



古代から好まれた鉄の響き

今から約1300年前、奈良・東大寺で、大仏開眼の日に千人の僧侶による声明と雅楽が奉納され、その楽器は正倉院に収められたと記録されている。

東大寺の正倉院に納められている宝物のなかに、「方響」という楽器がある。この楽器は、^{ほうきょう}長方形の鉄板16枚を音律の順に上下二段に吊るし並べた旋律打楽器で、アジア大陸からシルクロードを経て、奈良時代に日本に伝来したと言われている。

このほど、古代の音を甦らせようと方響が復元された。復元にあたっては、正倉院に残された楽器の断片や、1,000点以上の古代釘金具の成分分析から音の良く出る組成が設定され、鋼が製造された。復元された方響は、いくつかの復元古代楽器とともに国内外で演奏会が催され、「よく響く、澄んだきれいな音がする」と大きな反響を呼んだ。

ある材料が良い音を出すか否かは、音の振動を伝えるものの形状や条件、聞く側の嗜好等によって大きく変化するため限定するのは難しいが、弾性係数が高いものが比較的良いとされている。鉄は、弾性係数が高いため音の振動が継続し、いつまで

も鳴り響く余韻という音響効果を有している。

清らかな鉄の響きは、千年以上前からその美しい音色が認められ楽器として愛用されていた。現代においても、音響測定、楽器の調律などに用いられる音叉^{おんさ}や鉄琴、トライアングルなどに澄みきった鉄の響きは生かされている。



(写真提供:千年の響き実行委員会)



復元された鉄の方響は、2オクターブの音域を出すため25枚の鉄板で構成されている(写真提供:真如苑)

音環境をデザインする試み

楽器の音や音楽の音などは、心地よい、きれいな音色が選ばれ使用されているが、最近では、環境や空間における音全体をデザインするという新たな試みが行われている。

1960年代末にカナダの作曲家マリー・シェーファーが提唱した「サウンドスケープ」という概念は、Sound(音)とScape(眺め)を組み合わせ、音の風景、聴覚的景観を意味する。音を物質的存在として捉えるだけでなく、さまざまな社会で生活する人がどのような音を聞き取り、いかに意味づけ価値づけているか、さらに地域を象徴する音や人々が愛着をおぼえる音といったことを重視する姿勢がサウンドスケープという考え方である。

この概念を生かした音環境のデザインの一例が、2002年ワールドカップ・サッカー決勝戦の会場となった横浜国際総合競技場の東ゲートに見られる。ここにはステンレスメッシュ製の照明柱と噴水のアートがあり、8本の照明柱にスピーカーが取り付けられ、噴水の動きに合わせて音楽が流れる。音は照明柱を移動するように流れ、水の音とともに空間の広がりを感じさせる。ステンレスメッシュ製の照明柱は、圧迫感のない軽快な印象を持ち、また夜には光の柱となり夜空を彩る。照明柱はそれぞれ異なるアーティストが造形し、視覚的にも楽しめるアートとなっている。

環境庁(現環境省)が行った「残したい日本の音風景100選」(1996年)もサウンドスケープの一環といえる。これは音環境を保全する上で特に意義があると思われるものを環境庁が認定したものであるが、100選の一つには、岩手県・水沢駅の南部風鈴が選ばれている。900年の歴史を誇る南部鉄器の産地にある岩手県・水沢駅ホームには、毎年6月から8月にかけて南部風鈴が飾られ、水沢駅は「風鈴駅」とも呼ばれている。吊鐘型、松笠型、灯籠型などの南部風鈴が吊るされ、南部鉄の響きが、プラットフォームの喧騒を和らげると人気である。

音の性質を数値化する

そもそも音とは、空気などを伝わる圧力波のことである。空気中に生じた圧力波を耳の鼓膜で捉えたとき、人は音を感じる。この圧力波の一秒間の振動数が周波数(単位はHz)である。耳で聞く場合の音の高低は、周波数の高い音を高音、低い音を低音と言っている。人の耳で聞くことができる音は、およそ20~20,000Hzの範囲で、20Hz以下の音を超低周波音と呼び、20,000Hz以上の音を超音波と呼んでいる。

音の大きさは、音圧レベルで表すのが一般的である。音圧レベルの単位は最小可聴音を0として、最低可聴音の10倍の強さが1ベル(BEL)、100倍が2ベルと定義される。すなわち、最低



メッシュアートシンボル柱(横浜国際総合競技場)は、音を生かした空間が形成されている(写真提供:(財)横浜市スポーツ復興事業団)



「残したい日本の音風景100選」に選ばれたJR東北本線水沢駅の南部風鈴は、涼やかな夏の風物詩となっている(写真提供:岩手県水沢市)

■日常の騒音レベル

40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	単位 dB(A)				
図書館	市内の深夜	静かな事務所	静かな乗用車の室内	普通の会話	静かな乗用車の室内	デパートの中	騒々しい事務所	騒々しい工場内	電話のベル	電車の中	ガード下	自動車の警笛の近く	飛行機エンジンの近く	リベット打ち	サイレン

((社)日本自動車工業会資料より)

可聴音に対する音圧の強さの比を対数表示したものである。一般にはその1/10の単位であるデシベル(dB)が使われている。

音圧レベルは、音の物理的な強さであるのに対して、実際に人の耳が音を聞いたときの大きさは、騒音レベルで表される。人の耳は、周波数の低い領域や高い領域では感度が鈍る傾向にあり、同じ大きさの音であっても周波数によって、異なる大きさに聞こえる。そのため、騒音を測定するには人間の耳に似た周波数特性を持つ騒音計が用いられ、測定したレベルを騒音レベルと呼び、dBの単位で表している。例えば、静かな事務所内で50dB、デパートの中で70dB、ガード下が100dB、サイレンが140dB程度の音となっている。

自動車騒音を抑える技術

音楽などのように好ましい音がある一方で、音には不快に感じる音もある。

騒音とは、望ましくない音である。音が望ましいか否かは音の種類別、音の大きさ、音の高低等に関わらず、その音を聞く人がどう思うかによって決まるため、心理状況に大きく左右される。一般的に騒音になりやすい音は、大きな音、周波数の高い音、音色の不快な音、衝撃性の音などである。公害等で問題となっている音は、自動車騒音、鉄道騒音、航空機騒音、工場騒音、それに、カラオケの演奏やペットの鳴き声、ピアノ、クーラーの音などの近隣騒音である。

さまざまな騒音のうち、自動車騒音に関しては1975年以前の騒音エネルギーを100%とした場合、最新の車両は大型トラックで7.9%、乗用車で15.8%、二輪車では5%のエネルギーレベルまで低減されており（(社)日本自動車工業会による）、ここでは、大幅な騒音の低減が図られた自動車騒音について、その具体的な騒音低減技術について取り上げる。

日本の自動車（単体）の騒音規制は1951（昭和26）年に制定され、当初は「定常走行騒音」と「排気騒音」の規制が行われていたが、1971（昭和46）年から「加速走行騒音」が導入された。その後も段階的に規制値は強化されている。

自動車の主要な騒音源は、エンジンや冷却系、排気系、吸気系、駆動系からの音、さらにタイヤと路面との間で発生する音などがあるが、加速走行時の騒音はエンジン音の比率が高く、1970年代からエンジン騒音の対策が積極的に図られてきた。

エンジン騒音の主な加振源は燃焼圧力と機械系加振力（ピストン・クランク機構の運動、動弁系の衝撃、タイミングギヤ衝撃）である。これらにより発生した振動が、ピストン、クランクシャフト等を経由し、シリンダブロックやオイルパン等の発音部に伝達し、音となって放射される。

このうち燃焼圧力に対しては、燃焼を緩慢化すること等で燃焼衝撃を低減させる方法がとられている。

機械系加振力の一つであるピストンスラップ（ピストンが往復する際にシリンダに衝突することにより生じる振動）に対しては、ピストンとシリンダのすきまを小さくすること等で低減がはかられている。

加振力で発生した振動を伝達するシリンダブロックに対しては、下部に補強板を入れたり、シリンダブロックとオイルパンの間に分割形クランクケースを挿入して補強したり、またシリンダブロックの剛性向上等により振動低減が図られている。

音を放射する発音部に対しては、特にシリンダブロックと直結したオイルパンからの放射音の寄与率が大きく、オイルパンに遮音カバーを取り付けるなどの方法が取られていた。しかしこの方法は質量の増加やエンジンの製造工程の複雑化、メンテナンス

高級スピーカーに人気のアルニコ磁石

最近、高級スピーカー用として、アルニコ磁石の価値が見直されてきている。

永久磁石は、これまでに多くの材料が開発され、時代とともに磁石の性能は向上してきた。アルニコ磁石は、鉄、アルミ、ニッケルの合金にコバルトなどを添加した鑄造磁石で、1950～60年代には最高の強磁石として全盛期を迎えた。1970年代から安価で高性能なフェライト磁石が市場に出回り、現在一般的なスピーカーにはこのフェライト磁石が多く使用されている。

ところが最近、オーディオ愛好者を中心として、スピーカー用としてアルニコ磁石への人気が高まっている。

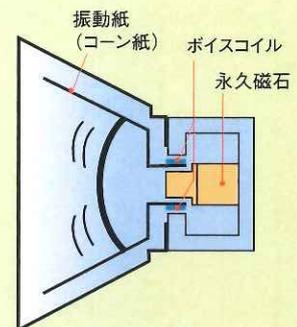
磁石は周囲温度の変化とともに、その特性が変化する。これは磁石に使われている素材の磁気特性が温度変化の影響を受けるため、特に磁束密度と保磁力が大きく変化する。温度が1℃上昇することに残留

磁束密度は、ストロンチウム・フェライト磁石では-0.18%、サマリウム・コバルト磁石では-0.03%、アルニコ磁石では-0.02%の減少となる。温度変化が極めて小さいのがアルニコ磁石である。

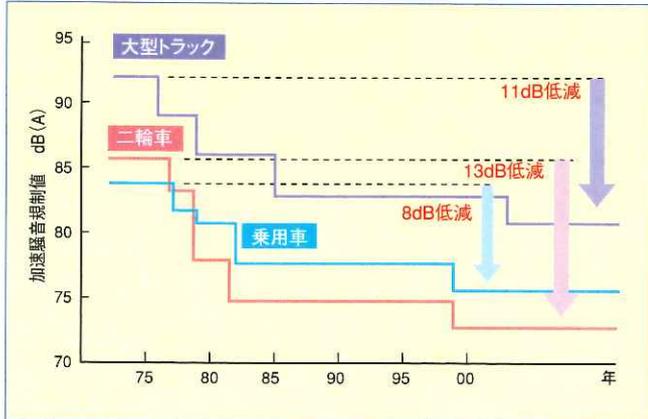
温度上昇にともなう磁束密度の低下は、磁石を使用する機器に大きな影響を与え、スピーカーの場合、音が小さくなる等の現象をもたらす。温度変化に対する特性が優れたアルニコ磁石は、現在、高級スピーカーなどに採用され、音にこだわりの持つ人を満足させる音質を提供している。



（写真提供：(株)マグナ）

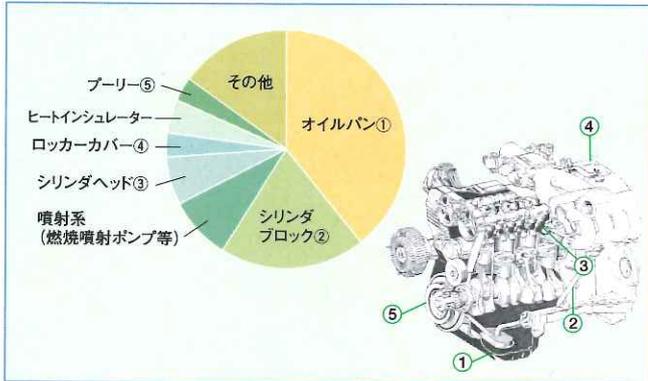


■自動車単体騒音規制値の変遷(国内)



(財)日本自動車研究所資料より

■小型ディーゼルエンジン騒音部位別寄与率



(財)日本自動車研究所資料より

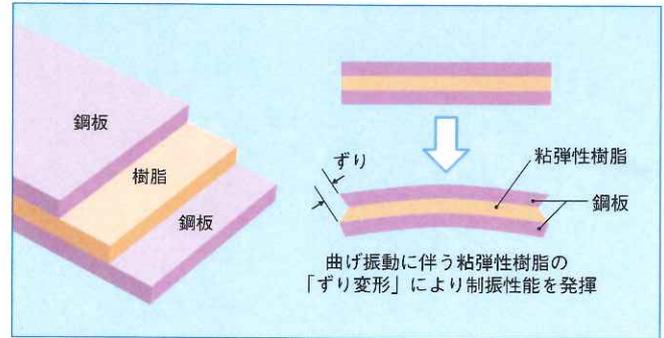


オイルパンに制振鋼板を使用することにより、3~4dB(近接)の騒音低減効果を発揮する

性が低下するなどの問題があるため、オイルパン自体を樹脂と鋼板の複合材料である制振鋼板で製造するという方法が、ディーゼルトラックを中心に多くの車種で採用されている。

その他、エンジン騒音以外では、冷却系騒音に対しファンの大径化や低速化を図ったり、ラジエタの大型化による性能向上などが行われている。また、排気系騒音に対しては、サイレンサの容量増大や内部構造の変更、サブサイレンサの追加などが行われている。さらに最近では排気管およびサイレンサ表面が振動し発生する放射音に対して、ステンレス製のフレキシブルパイプを追加する等により、エンジンから排気管への振動伝達を防止する対策が取られている。

■制振鋼板の構造



HDDは、シーク音と呼ばれる読み書き時のヘッドの駆動音やディスク高速回転に伴う風きり音等が発生するが、これらの音(振動)を低減するためカバーに制振鋼板が使用されている

これらの騒音対策はほんの一例であり、実際にはより細部にわたり数多くの対策が行われてきた。その結果、自動車騒音は大幅に減少し、1970年代と2000年代の大型トラックの騒音を比較した場合、11dB程度低減されている。

振動を熱に変えてエネルギーを減衰する制振鋼板

騒音の低減には、音響エネルギーを反射する「遮音」(コンクリート壁などによる音響反射)や吸収する「吸音」(ガラス繊維などによる音響吸収)、騒音の原因である振動エネルギーを反射・絶縁する「防振」(防振ゴムなどによる振動絶縁)と消散する「制振」(制振材による振動消散)の4つの方法が一般的に取られている。このうち「制振」を図るための材料の一つが制振鋼板である。

制振鋼板は、2枚の鋼板の間に粘弾性樹脂をサンドイッチした3層構造となっており、曲げ振動に伴う粘弾性樹脂のずり変形によって振動エネルギーを熱エネルギーに変換して振動を減衰させ、制振性能を発揮する仕組みとなっている。

制振鋼板の主な用途は、自動車のオイルパンやパソコンのハードディスクドライブ(HDD)カバーなどである。

制振鋼板には高い制振性だけでなく、使用される製品それぞれの状況に合わせた適性や機能が求められる。例えば自動車のオイルパンの場合、オイルパンは複雑な形状であるため、高い深絞り成形性が求められる。そのため使用される制振鋼板は、最高級の深絞り鋼板(極低炭冷延鋼板)を使用し、さらにサンドイッチする樹脂は、従来は熱可塑性樹脂を用いていたが、170℃の塗装焼付けにも耐える耐熱性と耐久性を持つ熱硬化

性樹脂を採用し、粘着強度を高めるなどして、制振鋼板のプレス成形性が高められている。また、パソコンのHDDカバーの場合、異物粒子やガスの発生が少ないなどの清浄性が特に厳しく求められている。そのため材料には、耐食・耐錆性に優れたステンレス鋼を使用し、このような要求特性を満たす高機能な制振鋼板が開発されている。

鉄鋼材料自体は、ゴムや木材に比べ制振性が高いとは言えないが、複合材にすることにより、他素材以上の高い制振性を発揮する。鉄は音を出すだけでなく、「音を抑える」機能を獲得したのだといえるだろう。

騒音問題は数十年前に比べ、自動車単体の騒音をはじめとして大幅に低減されてきたが、自動車の交通量や道路環境等に影響される自動車交通騒音は依然として環境基準の達成率が低く、今後は、騒音源のみの対策ではなく広範囲にわたる総合的な騒音対策が必要となってくる。

制振鋼板を代表例として、鉄は技術開発力を糧に、音に対する新しい機能を獲得した。環境に対する意識が高まるなか騒音問題もますます厳しくなる傾向である。今後、新しい分野での音に対する鉄の関わりが求められる可能性も十分にある。千年以上続く鉄と音の関係は、高い技術力によってさらに深化し、新しい広がりを見せることが期待される。

音を生かした新しい試み

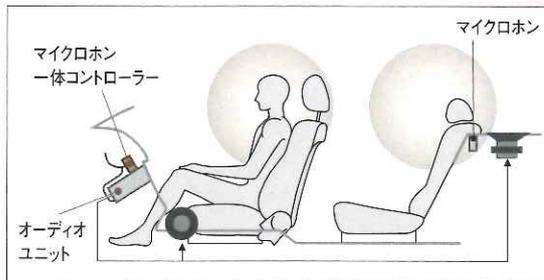
従来の方法とは違って、音を抑えるのではなく、逆に音を付加することで騒音低減を図る試みや、また、心地よい音質に加工し商品価値を高める試みなど、新しい音への取り組みが始まっている。

アクティブ騒音制御(ANC: Active Noise Control)と呼ばれる方法は、従来からある吸音材料などで騒音を低減させる受動的な方法とは異なり、もう一つの音を加えることで消すという能動的な制御法である。このシステムは、音にはその音と逆位相の音を加えると、おたがいの音が相殺するという性質を利用したもので、減衰させたい音の波形と逆位相の波形の音を電気的に作り出し、この音を流すことにより、騒音レベルを下げるという仕組みである。空調ダクト騒音、家庭用冷蔵庫、乗用車の車内騒音などの一部ではすでにアクティブ制御の実用化が開始されている。

また、最近では音が商品を選ぶ際の判断材料となることから、音質を変えることで商品価値を高める取り組みが行われている。

自動車各社が力を注いでいるのが「ドア閉まり音」である。ドアを閉める時の音は、ユーザーの半数以上が購入時の判断基準の一つとしているなど、その車のイメージを決める要素となっているからだ。ユーザーが求める高級感、重厚感のあるドア閉まり音とは、一般的に低周波の音圧レベルが大きく、最大音圧レベルの減衰が早く、また高周波の減衰が早いほどユーザーが好む音になりやすい。

この効果を高めるため、ウェザーストリップ等が利用されている。ウェザーストリップは、ドアやエンジンルーム内の水等の侵入を防止するゴムであるが、音の緩衝機能を持ち、ウェザーストリップの位置変更やサッシュやヒンジ部の剛性アップなどで音質が変わることがわかっている。自動車各社は、ウェザーストリップを2重構造としたり、ウェザーストリップとガラスとのシール性を向上するなどの独自の開発により、ユーザーの感性に訴えかける音を生み出している。



アクティブノイズコントロール(「NEWインスパイア」搭載)の構成コントローラーがエンジン回転数をもとにして制御周波数を検出し、オーディオと連動してスピーカーからうち消し音を出力することにより、こもり音を効果的に低減する。(資料提供:本田技研工業(株))



ドア開閉時にガラスを約10mm下降させ、ドアを閉じた後上昇させる機構により、ドアを閉じる時の空気圧の影響を減少させている。この機構はウェザーストリップとガラスとのシール性を向上させ、高速走行時の吸い出し音をなくす効果もある。(写真提供:日産自動車(株))

[取材協力:(社)日本自動車工業会、(財)日本自動車研究所、(株)ファナ、真如苑、(財)横浜市スポーツ振興事業団、岩手県水沢市、(株)マグナ、新日本製鐵(株)本田技研工業(株)、日産自動車(株)]