

特集：カーオーディオ

ハイレゾ時代に相応しい高性能スピーカー振動板の開発

三菱電機株式会社

鈴木 聖記

NCV という名の革新的なスピーカー振動板を開発した。NCV は“Nano Carbonized high Velocity”の略で、数種類の高分子材料とカーボンナノチューブを組み合わせた新素材である。最大の特徴としては、樹脂系材料でありながらチタンを超える伝搬速度を持ち、かつ紙と同等の適度な内部損失を持つことである。このスピーカー振動板は射出成形によって製造できるため、所望の周波数帯域に応じたサイズの振動板を得ることができる。NCV 振動板を使用することで、広い周波数帯域で音色が統一され、原音に忠実なスピーカーシステムの構築が可能となった。

1. はじめに

スピーカーシステムの原音再生能力は、振動板の性能に大きく依存する。スピーカーの振動板には、高い「伝搬速度」($=\sqrt{E/\rho}$ 、 E =引張係数、 ρ =密度)と、振動の減衰の度合いを示す「内部損失」を適度に持つことが求められる。図1は代表的なスピーカー振動板素材における伝搬速度と内部損失の関係である。これらの2つの特性は多くの場合、互いに相反する関係にある。例えば、チタンやアルミといった金属の振動板は、伝搬速度が5,000m/sec以上と大きいためトウイーターに適しているが、これらの金属振動板は一般に内部損失が0.005以下と小さいため、耳につく不要な固有音を伴うという弱点もある。一方で紙やポリプロピレン(PP)は内部損失が大きいため固有音が少ない。しかし、これらの物質は伝搬速度が低いためトウイーター用には向かない。新開発したNCVは高い伝搬速度と適度な内部損失を両立させることに成功した。

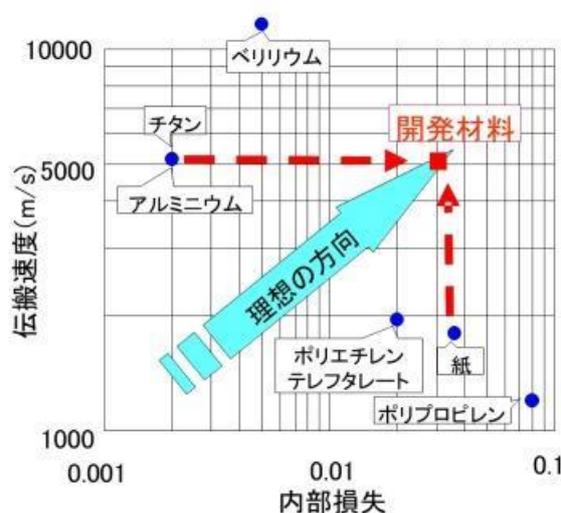


図1 振動板材料の物理特性

2. NCV 振動板の物性

弊社はカーボンナノチューブと数種類の高分子材料を合成することで、これまでにない物質NCVを開発した。高い伝搬速度を持ちながら適度な内部損失も併せ持つという特異な性質を有する。

図2は伝搬速度(実線)と内部損失(破線)の温度依存性を示したものである。測定にはウーファー振動板をサンプルカットしたものをを使用した。赤太線と青線はそれぞれNCVとPPを示してい

る。図2から、NCVのこれらの特性がPPと比べて温度に対して安定であることがわかる。NCVの伝搬速度は25°Cで5590m/sを示し、チタンのそれを超える。これは樹脂系材料としてはトップレベルである。また、内部損失は広い温度範囲で約0.03を維持した。広い温度範囲で安定した特性を保つということは、NCVにとって利点というだけでなく必要条件の一つでもある。元々、NCVは車載用途として開発されたためである。NCVは温度変化が激しい車室内環境においても優れた特性を示す。

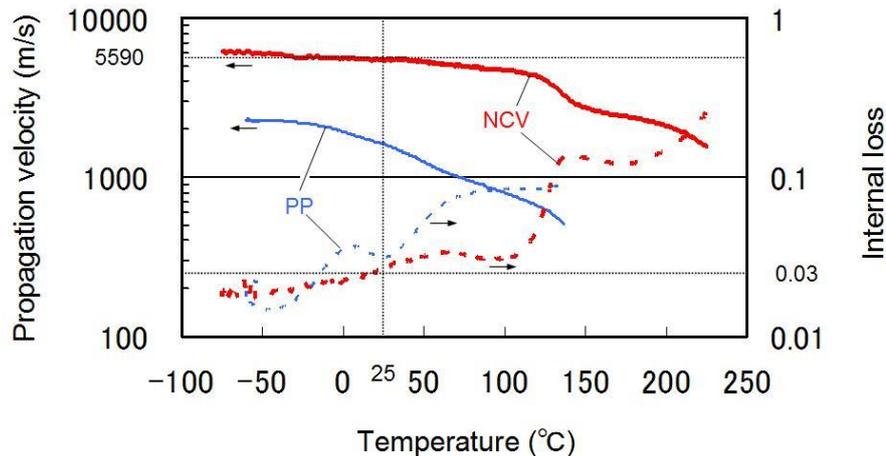


図2 伝搬速度と内部損失の温度特性

3. NCV 振動板スピーカーの性能

NCV 振動板がこれまでのものと比べて優れている理由は大きく2つある。

まず一つ目は、NCV 振動板が広い周波数帯域でピストンモーションを維持することである。これは、PPなどの従来の樹脂材料と比べて剛性が高いためである。スピーカーはボイスコイルと振動板が一体となって振動する時しか原音を忠実に再現することができない。しかし、ある周波数を超えると、振動板がたわむことで共振を始める。これによって入力された信号に正確に応答することができなくなる。一般的に、ピストンモーションする周波数領域が広いスピーカーほど性能が良いとも言える。図3(a)と(b)はスピーカー振動板の中心における振幅の周波数特性である。ここからピストンモーションをする周波数帯域を知ることが出来る。同口径のNCVとPP振動板を使用して比較をおこなった。縦軸に、入力信号で正規化した振幅を、横軸に周波数をプロットしている。ピストンモーション領域では、スピーカーの振幅は周波数の二乗に反比例するため、振幅に対数を取ると、周波数に対して一次関数的に減少する。図3からPPは約700Hzで分割共振を始めたのに対し、NCVは約2kHzまでピストンモーションを維持していることがわかる。NCVは樹脂系材料でありながら、金属に匹敵する高い剛性を持つ。これによって原音をより忠実に再現することができる。

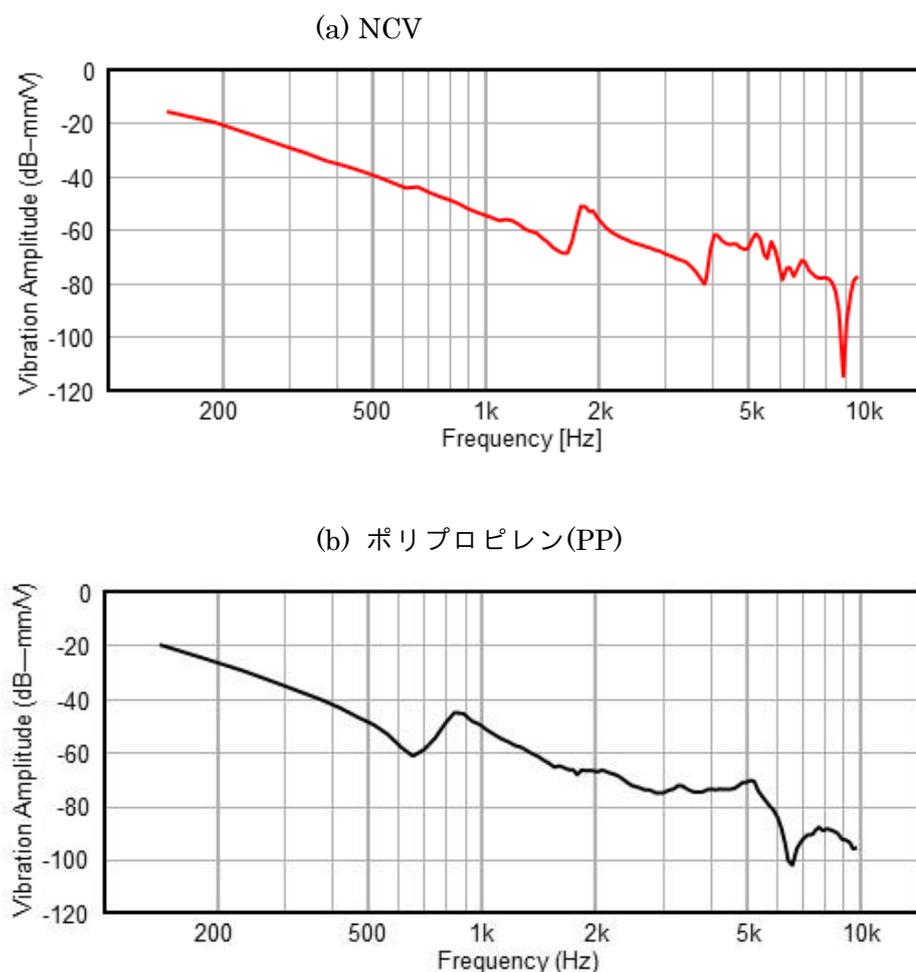


図3 スピーカー振動板中心部振幅の周波数特性

音圧についても同様に測定した。図4はNCVとPPスピーカーの音圧の周波数特性である。スピーカーは図3と同じものを使用し、40リットルの箱に収めた。出力は1Wで、マイクは測定対象から1m離れた位置に置いた。音圧特性は振動板の材質だけでなく、形状やエッジの材質などによっても変化するため、振動板以外の条件は同一とした。

NCVはPPに比べて広い周波数範囲でピストンモーションを維持するため、PPが1.2kHz～2kHz辺りで大きなディップを生じているのに対し、NCVは4kHz周辺までフラットな特性を保った。

NCVは剛性が高いため、大きな共振ピークが現れやすい。図4(a)で6kHz辺りにピークが現れているが、トゥイーターと組み合わせて2wayシステムとして使用する際に、高音域は減衰($F_c = 3\text{kHz} \sim 4\text{kHz}$)させるため、大きな問題とはならない。

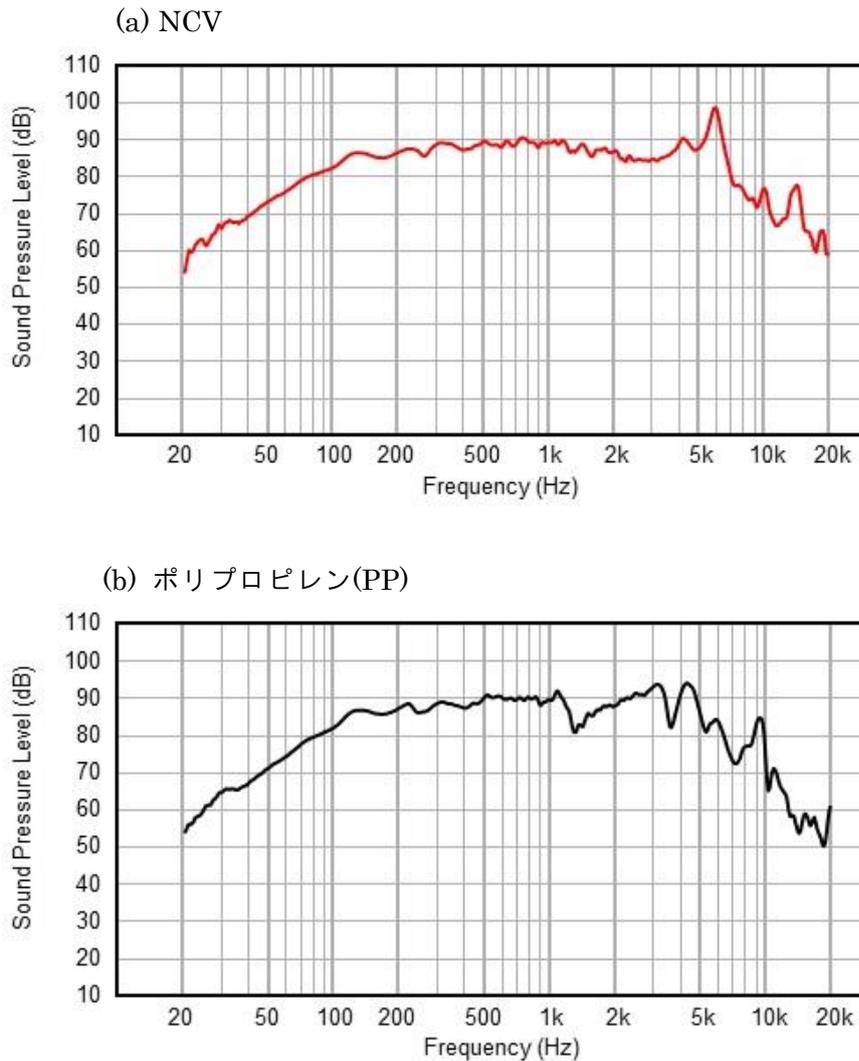


図 4 NCV 及びポリプロピレン振動板スピーカーの音圧周波数特性

次に NCV の二つ目の利点として、低域から高域まで振動板の材質を統一することが出来るという点を挙げることができる。図 5 に NCV 振動板の外観を示す。NCV は樹脂を主原料としており、射出成型によって作成できるため、金型を変えることで所望の周波数帯域に応じたサイズに成型することができる。例えば、0.3mm 厚のウーファの場合、0.02 秒という非常に短い時間で成型される。

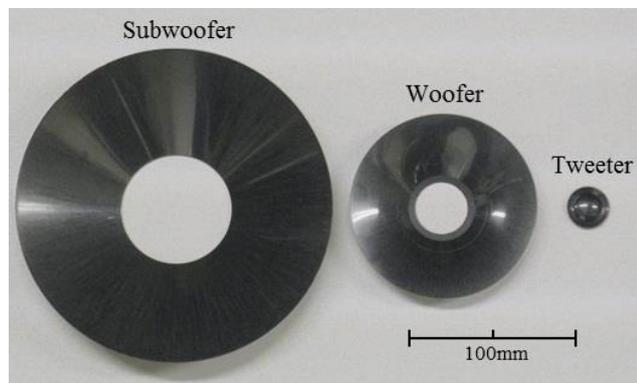


図 5 NCV 振動板の外観

図 6 はサブウーファ(橙線)、ウーファー(赤線)、トゥイーター(青線)の典型的な周波数特性を示

したものである。3kHz 辺りで分割することで、NCV は 100Hz から 20kHz でほぼフラットな特性を保つことが出来る。それぞれのスピーカユニットにおける、振動板の直径と再生可能な周波数領域の関係を表 1 に示す。さまざまなサイズを組み合わせることで、NCV スピーカーは可聴帯域を全てカバーすることが可能となる。

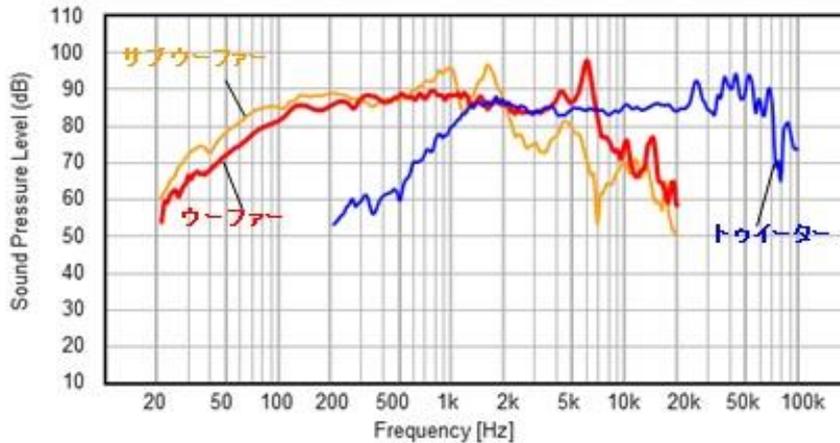


図 6 NCV スピーカーの音圧周波数特性

スピーカユニット (公称口径)	振動板直径	再生周波数範囲
サブウーファー (250 mm)	190 mm	20 Hz to 4 kHz
ウーファー (165 mm)	112 mm	50 Hz to 10 kHz
トゥイーター (30 mm)	25 mm	1.5 kHz to 80 kHz

表 1 NCV スピーカーの再生周波数範囲

NCV は優れた特性を持つ上に、振動板サイズを自在に成形することが出来る。これによって、広い範囲でフルレンジスピーカーのように音色を統一することが可能となった。

4. むすび

我々は、高分子材料とカーボンナノチューブを合成することで、NCV と呼ばれる新材料を開発した。5500m/s を超える伝搬速度は、チタンを超えるものであり、樹脂系材料ではトップレベルである。また、内部損失は紙と同等の 0.03 である。NCV スピーカーは低音から高音まで、原音を正確に再生することができる。さらに、成形技術によって広い周波数領域で振動板を統一することを実現した。NCV 振動板を使用したスピーカーシステムはすでに車載用やホーム用の AV 製品に広く適用されている。

筆者プロフィール



鈴木 聖記 (すずき せいき)

89 年東北大学工学研究科曽根研究室を卒業。同年三菱電機に入社しダイヤトーンスピーカーの設計に従事。フラット TV 用スピーカーの設計を経て、カー用高級ダイヤトーン開発のため三田製作所へ異動。現在はマネージャー。