

## マグネシウム振動板の開発

Development of a magnesium diaphragm

佐藤 政敏，富山 博之

Masatoshi Sato, Hiroyuki Tomiyama

**要 旨** マグネシウム合金は実用金属中で最も軽く，内部損失が高いことから理想の振動板材料として以前から注目されていた。しかし，薄肉成形が困難であることと，非常に耐食性が悪いという問題点があり，振動板としての実用化が遅れていた。マグネシウムの薄肉成形技術と薄膜防錆処理技術の確立により，ツイーター用マグネシウム振動板を開発し，高感度で歪みの少ない高音質ツイーターを実現した。

**Summary** Magnesium is well known as one of the lightest metals and it has high internal loss. So it attracts great attention as the ideal material for speaker diaphragms. But it is difficult to press into thin sheet metal and rusts easily. We developed a magnesium diaphragm using new pressing technology for thin magnesium sheets and new rust proof treatment, and used this to make a high quality tweeter unit.

**キーワード** : スピーカ，振動板，マグネシウム

### 1. まえがき

スピーカの音質および特性は，振動板にどのような素材を使用するかによって大きく左右される。その振動板に求められる主な材料物性は，軽量，高剛性，適度な内部損失である。ところが，これらの物性は互いに相反する物であり，振動板としての理想の物性を求め，相反する物性の両立や最適バランスを求め，新素材が常に研究されてきた。

これらの物性の特徴を生かした素材が再生帯域毎または口径毎に使い分けられている。中低域再生のユニットでは，剛性と内部損失のバランスが取れた素材が主に使われ，高音域再生のユニットでは，使用帯域で共振を持たないように高剛性を追求した素材（ハード系）を使用する

か，逆に分割共振を積極的に活用し，共振のピークをなだらかにしてつないでいくために，柔らかく内部損失が非常に高い素材（ソフト系）が使用されている（図1）。特に，高剛性を追求したハード系のツイーター用素材には最先端の素材や工法が応用されてきた。我々は，軽量・高剛性・適度な内部損失の物性バランスが揃ったマグネシウムが，ハード系素材の理想材料のひとつであると位置づけ，マグネシウム振動板の開発を行い，カースピーカに搭載した。

### 2. 高音域再生用振動板素材の理想追求

高剛性を追求したツイーター用素材（ハード系）には金属系やセラミック系がある。これらハード系振動板は，高剛性で音速（振動板中を

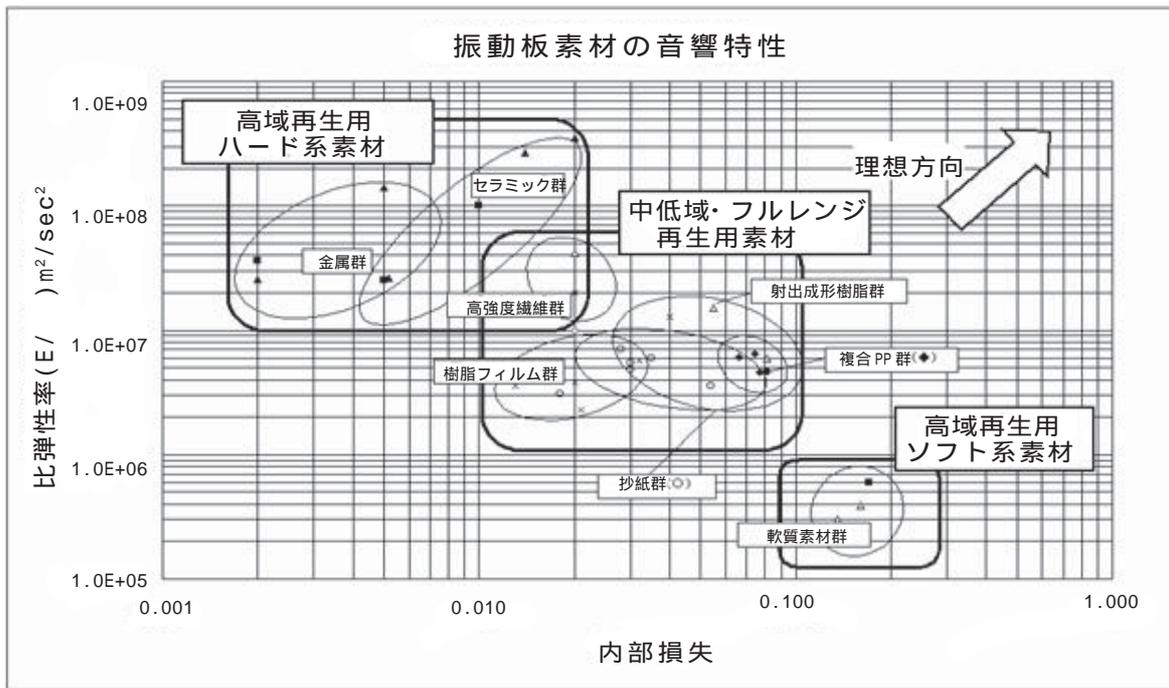


図1 各種振動板用素材と音響物性

音が伝搬する速度) が速いという素材の特徴から、音の反応が速く(トランジェント特性がよい)、緻密で繊細な音が表現できるため幅広く使われてきた。

さらなる高音質の追求により、スピーカメーカー各社が最高の高剛性(高ヤング率)を求めた素材研究により、最先端の素材や加工技術を使い、全結晶質ダイヤモンド、ベリリウム、ボロン、カーボングラファイトなど、超高剛性素材を振動板形状に作り上げ、実用化されてきた。しかし、これらの超高剛性素材は音質に対する評価は非常に高いが、生産加工が非常に高度で高コストであるため、一部の高級スピーカに採用されている程度である。そこで、一般的に普及しているハード系振動板は、チタン合金やアルミ合金(ジュラルミン)を薄膜にしてプレス加工した金属振動板である。ところがこれらの金属振動板は、高剛性ではあるが、重い(比重が高い)、減衰性能が低い(内部損失が低い)という欠点もあり、スピーカとした場合、感度が低い、特定の帯域で共振しやすい(癖のある音)などの課題もあった。

### 3. マグネシウム振動板に対する期待と成形技術の進歩

ハード系振動板の主流となっているチタン、アルミなどの欠点を改善でき、金属振動板の特徴を生かした理想の金属として昔から注目されていたのがマグネシウムである。マグネシウムは、実用金属中で最も軽量であり、金属の中では減衰性能が高く、理想の振動板素材として20年以上前から各種特許出願や、実用化の検討が行われてきた。しかし、マグネシウム合金は常温では延性に乏しく、塑性加工性が悪いため薄肉の材料をプレス加工することは困難であること、また非常に錆びやすい金属であり、実用的な防錆処理技術がなかったことからマグネシウムの用途はダイカストで成形できる厚肉製品に限られていた。

近年、モバイル機器などの薄型軽量化要求と、マグネシウムのチクソモールドや温間プレス成形技術などの急速な進歩が重なり、携帯電話やノートパソコンの筐体部分などの薄肉マグネシウム成形部品が広く実用化されてきている。しかし、急速な薄肉部品成形技術の進歩の

もとでも、実用化されている最も薄肉のプレス部品は0.5mm(500 μ m)程度であり、理想の金属のマグネシウムでツイーター用振動板を実現するには当時の薄肉成形技術をはるかに上回る0.05mm(50 μ m)の成形品を作る必要があった。

#### 4. マグネシウムツイーターの実現

このように、マグネシウムツイーターを実現するには0.05mmの薄板を作る圧延技術、振動板形状に成形する成形技術、さらに腐食し易いマグネシウムを使用環境下で保護し、薄肉・軽量の特徴を損なわない薄膜のマグネシウム防錆処理層の開発が課題となった。

##### 4.1 0.05mmの圧延技術とプレス加工

マグネシウム合金の結晶構造は最密六方格子のため、アルミニウムや銅などの立方晶と異なり、常温でのすべり面は底面の1面のみである。一方、アルミは12面、鉄は48面のすべり面があり、マグネシウムが如何に常温での延伸性に乏しいかがわかる。そのため、延伸しやすくするには再結晶温度以上に上げて圧延を行う温間圧延が有効である。しかし、薄膜になるほど切れやすくなることや、表面の平滑性を出すには圧下率(1回の圧延で薄くする割合)を低く抑えて冷間圧延で行う必要もでてくる。

成形性のよい0.05mmの薄板を作成するには、図2のように所定の結晶粒で均一にするように圧延をしていくかがポイントとなる。そのため

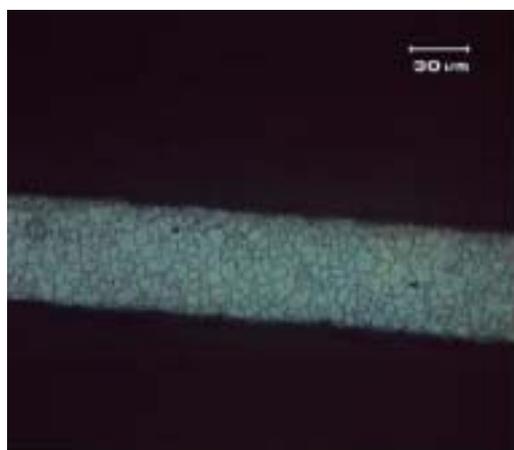


図2 マグネシウム圧延材の結晶粒

には、ただ0.05mmまで圧延できる条件の設定だけではなく、各圧延工程での温間圧延と冷間圧延の組み合わせ、圧下率の設定、焼きなましの入れ方などが重要なファクターとなった。

成形についても、200℃以上ではマグネシウムは軟鉄材レベルの深絞り性が出てくるため、金型を加熱してプレスする温間プレスを行って成形するが、延伸のバランスが悪いと非常に切れ易く、バランスよく伸ばす金型設計、温度設定、テンション設定がポイントとなった。

##### 4.2 防錆処理の開発

マグネシウムは非常に錆びやすい金属であり、防錆処理方法が各種検討されてきている。

ここで課題となったのは、自動車用スピーカの信頼性に耐えうる防錆機能と、50 μ mの薄肉マグネシウムの特徴を損なわない薄膜の防錆処理を両立させることであった。

マグネシウム部品の普及により、いろいろな防錆処理方法が確立されてきているが、自動車部品の耐食性を満足するものはすべて厚塗りの塗装が一般的であり、これでは50 μ mの薄肉軽量が特徴のマグネシウム振動板の特徴がまったくなくなることになる。そこで、薄膜でも自動車部品の耐食性を満足する防錆処理を新たに開発することになった。

その結果、特殊な陽極酸化処理と薄膜電着塗装の組み合わせにより、自動車用スピーカの耐食性規格を満足し、薄膜軽量のマグネシウム振動板の特徴を損なわない薄膜の防錆処理が完成した。

##### 4.3 マグネシウム振動板の実現

上述の課題を解決し、0.05mm厚で非常に軽量のツイーター用マグネシウム振動板の開発に成功した。さらに、均一で量産性の高い薄板延伸コイルでの連続成形技術を確立し、普及価格帯のスピーカにも使用できる部品コストにおさえることができた。

#### 5. マグネシウムツイーターの特徴

ハード系振動板の主流であるアルミやチタンとの音響物性を比較すると、音速は同等である

が、内部損失が2倍以上であり、比重が小さいという特徴がある(表1)。この物性比較から、同一形状で比較した場合は次のような特徴がある。

- a. 高域限界周波数はほぼ等しい(音速が同等)。
- b. 共振点での減衰が速く、立下りが速く、歪

が小さい(内部損失が高い)。

- c. 比重が低く軽量にできるため、高感度で、反応が速い。

図3および図4により、同一形状の25mmドームタイプスピーカにおける、アルミとマグ

表1 金属の音響物性比較

		マグネシウム	チタン	アルミ
比重 $\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.7 E3	4.5 E3	2.7 E3
ヤング率 E	N/m <sup>2</sup>	4.5 E10	12.0 E10	7.1 E10
比弾性率 E/ $\rho$	m <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>	2.6 E7	2.7 E7	2.6 E7
音速 $\sqrt{(E/\rho)}$	m/sec	5140	5160	5130
内部損失		0.0045	0.002	0.002

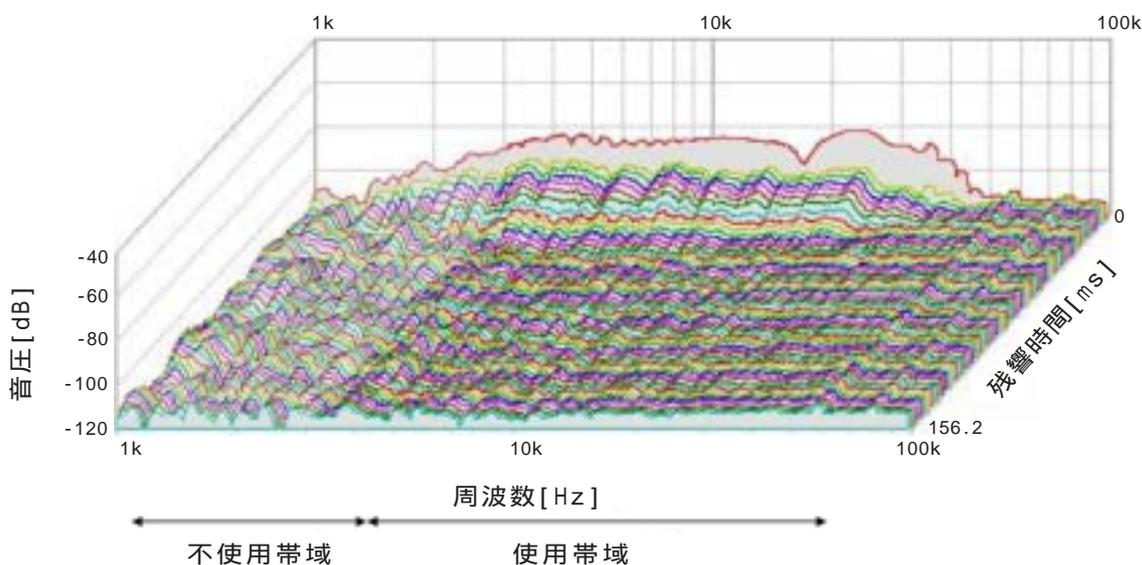


図3 マグネシウム合金を用いたスピーカの減衰特性

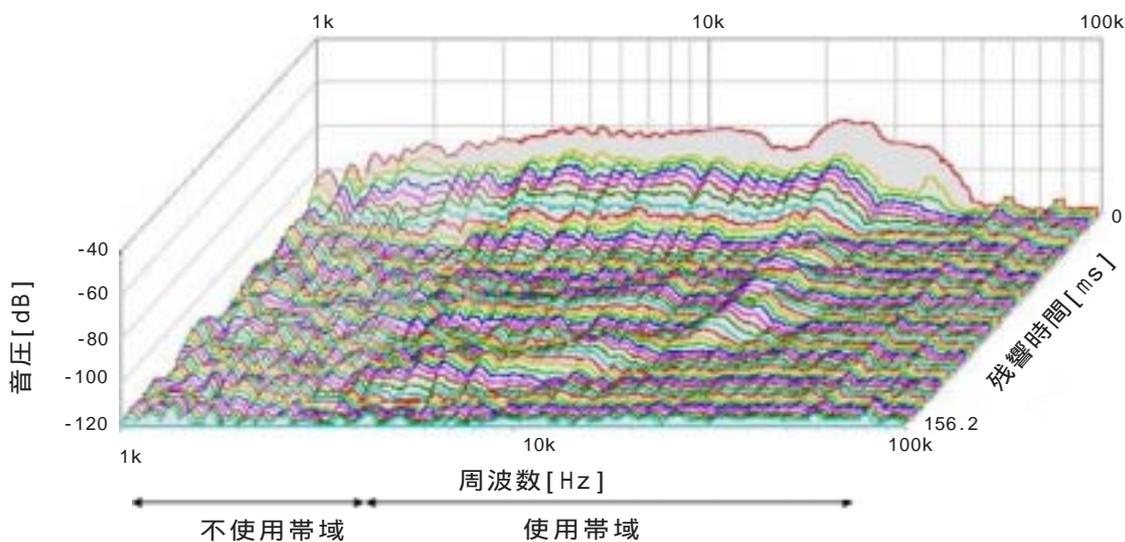


図4 アルミニウム合金を用いたスピーカの減衰特性

ネシウムの減衰，立下り特性の比較を述べる。マグネシウムの場合，使用帯域(4 ~ 5kHz 以上)全体において山が急激になくなり，立下りの時間が速いことを示している。また，それ以降特定周波数での盛り上がりもなく，不要な響きはほとんどないと言える。

一方，アルミの場合はマグネシウムに比べ使用帯域での山がなだらかに落ちているのがわかる。つまり入力信号がなくなってからも響いている時間が長いことを表している。また，特定の周波数(20 ~ 25 k Hz)で山がいつまでもなくならない，また 150msec 付近で低い山が発生し

ており，不要な響きが特定周波数で出ていることがわかる。

このようなマグネシウムの素材の特徴を生かし，金属振動板の特徴である緻密でスピード感のある音を再現できると共に，高感度，低歪みで，癖のない高音質ツイーターユニットを実現した。

今回採用のユニットは，バランスドームタイプのツイーター振動板(50  $\mu$ m 厚)3種類を使用したもので，ヨーロッパ市場のメイン機種である TS-E シリーズに採用した。

採用した振動板の形状，製品の写真を図 5 に，ツイーターユニットの特性を図 6 に示す。



(a)マグネシウム振動板で作製した各種ツイーター

(b)各種ツイーターで構成したスピーカユニット

図 5 マグネシウム振動板

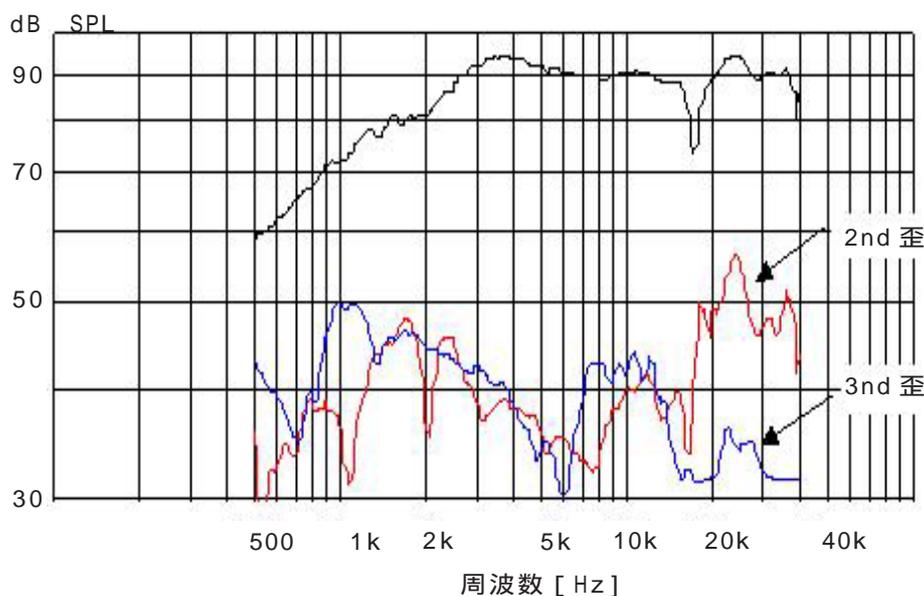


図 6 マグネシウムツイーターの特性

## 6. まとめ

ツイーター用金属振動板のひとつの理想素材として以前から注目されてきたマグネシウムを、当時の最薄肉製品0.5mmの1/10の薄さに挑戦し、薄肉成形技術と薄膜防錆処理技術の確立することで、0.05mmというツイーター振動板の開発に成功した。

さらに、量産性の高い連続プレス成形により低コストで実現し、普及価格帯のカースピーカーに高音質のツイーターユニットを搭載することができ、市場で高い評価を得ている。

今後、さらにマグネシウム振動板を理想に近づけ、普及させていくために、素材の追及と、マグネシウムの特徴をより生かす表面処理の追及を行う予定である。特にマグネシウム素材であるが、今回は市場に出ているマグネシウム合金の中での最適な素材を用いたが、マグネシウム合金の可能性はまだ高く、他の軽金属を配合した合金は比重が0.95と水に浮くものなどもあり、音響用素材としてさらに最適な物性を持ち、成形性に優れた独自の合金の開発を目指していきたいと思う。

## 7. 謝辞

本開発にあたりご協力を頂きました株式会社モリテックの関係各位に深く感謝いたします。

## 筆者

佐藤 政敏 (さとう まさとし)

所属：東北パイオニ<sup>㈱</sup> スピーカー事業部  
開発技術部

入社年月：1986年4月

主な経歴：入社以来振動板素材を中心にスピーカの基礎開発に従事

富山 博之 (とみやま ひろゆき)

所属：東北パイオニ<sup>㈱</sup> スピーカー事業部  
第一設計部

入社年月：1999年4月

主な経歴：スピーカの素材開発を経て、現在アフター製品の設計に従事