

### シンサレート吸音材によるエンクロージャーレススピーカー作成の試み

OKABE, Masashi / 岡部, 雅史

---

(出版者 / Publisher)

法政大学多摩研究報告編集委員会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Hosei University at Tama / 法政大学多摩研究報告

(巻 / Volume)

33

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

8

(発行年 / Year)

2018-10-30

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00021391>

# シンサレート吸音材によるエンクロージャーレス スピーカー作成の試み

岡部雅史<sup>1)</sup>

Design of Box-less Speaker using with Sound-Absorber Thinsulate™.

Masashi OKABE

## はじめに

スピーカーはユニットをエンクロージャー（キャビネット・箱）などに設置させることによって使用するのが一般的である。スピーカーの振動板は磁石とボイスコイルの作用で前後にストロークする。その結果、主として振動板の前面に放射された音声を利用することが通常の使用法である。この場合、振動板背面から同時に放射される逆位相の音波を封じ込めるためにスピーカーユニットをエンクロージャーに設置させて使用する必要がある。音波はホイヘンスの原理に従って回折現象を示す。つまり音波は障害物に対して回りこみや反射などの挙動を示す。特に波長が長い音波（低周波数域；低音）ほど指向性が小さく回りこみが顕著である。高周波数域では指向性が大きくなり回りこみ現象は小さくなる。また周波数にかかわらず波の重ね合わせ現象も生じる。この音波の回りこみ現象と波の重ね合わせ現象がスピーカー単体での使用を困難なものにしている。

スピーカー単体ではコーン紙は前面に音波を発生しているのはもちろんだが、背面にも逆位相の音波を発生している。つまりコーン紙は前後にピストン運動をして音波を作り出しているが故に、前方に動いて圧縮波を放つ際には、コーン紙裏側には逆位相の粗波を放っている。低音域ではコーン紙の両面で発生



Fig.1

した逆位相の音波がお互いに回り込んで打ち消し合ってしまうのである（Fig.1）。一方高音域では音波の指向性が強いので低音よりは回りこみが生じにくい、そのため、スピーカー単体で音楽を鳴らしてみると低音域が減衰し甲高いf特となって聞こえる。

このように振動板背面から放射される音波が前面の音波に干渉し、悪影響を及ぼすため、スピーカー設計の際は、振動板前後を遮断するためにエンクロージャーの使用が必須であった。

1) 法政大学経済学部

本稿では、近年発展が著しいポリエステル系断熱材シンサレートをスピーカーに使用することを試みた。

シンサレート (Thinsulate™) は米国ミネソタ州の 3M Company によって 1979 年より製造・販売されているポリエステル・ポリプロピレン (PET・PP) 系の化学繊維製品の総称である。

直径  $15\mu\text{m}$  ほどの PET・PP 混化繊であり、非常に

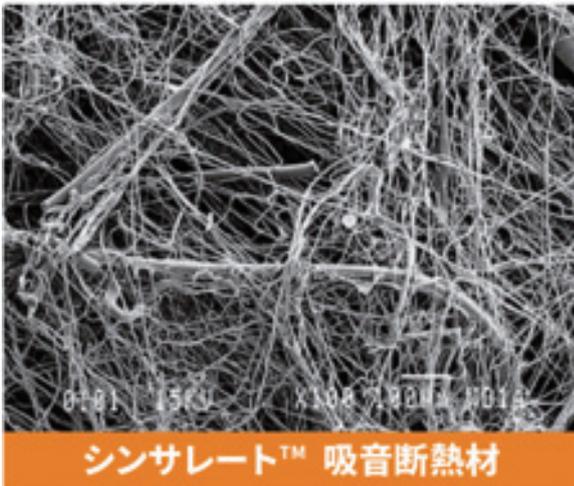


Fig.2

軽いのが特徴である ( $1\text{m}^2$  あたり  $80\text{g}$  ほど Fig.2)。当初より、断熱材・保温材として注目され、現在でもジャンパー、帽子、手袋など冬季用の多くの衣料品の断熱中綿として利用されている。1980 年代後半より、自動車産業界において、シンサレートを断熱・吸音材として内装に利用され始め、車両の静音化に貢献している。

このシンサレートを吸音材として使用し、振動板背面から発生する逆位相の音波を吸収し、前面の音声の周波数特性 (F 特) がどのように変化するかを測定し、振動板背面の音波の遮断がなされているか判断することを本稿の目的とした。

### 使用機材

#### スピーカー

Fostex 社の FE103-Sol (インピーダンス  $16\Omega$ ) を使用した。この口径 10 センチスピーカーは 2014 年から販売されており、以下のように、周波数特性 (f 特) が製造販売元の Fostex 社から発表されている (Fig.3)。

このユニットは、Fostex 社の発表によれば、バナナパルプを振動板の材料に採用し、さらに 2 層構造の抄紙を行なっている。1 層目には長繊維のパルプを用いて強度・剛性を高め、2 層目には短繊維のパルプを用いて振動板の伝播速度を高めたと謳っている。

上図 Fig.3 はこのユニットを JIS 標準箱に取り付けた時の F 特を示している。F0 (最低共振振動数)

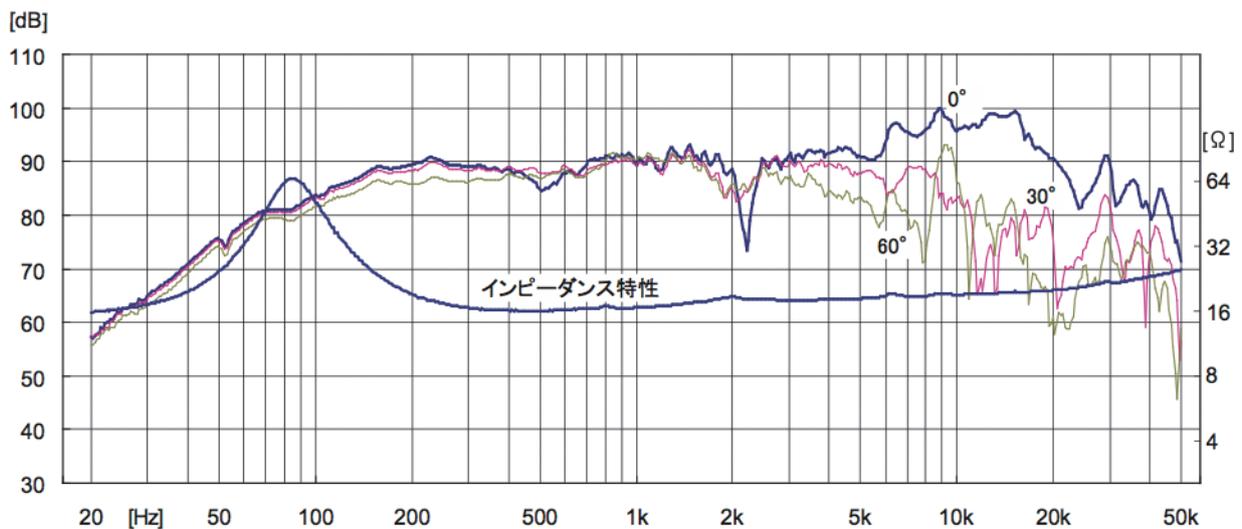


Fig.3

90Hz からおよそ 20000Hz (20k Hz) まで十分な再生能力を持っていることがわかる。

このスピーカーの外見上の特徴として、口径 10 センチのユニットとしては直径 80 ミリ、マグネット重量 226g となっており、Fostex 社の同他品と比べても磁石のサイズ及び磁束密度が大きく、ボイスコイルの駆動力が強いことがうかがわれる。ユニットの

他の物理的パラメーターは以下の製品仕様に記載されている通り、最低共振周波数 ( $f_0$ )、振動板質量 ( $m_0$ )、共振尖鋭度 ( $Q_0$ ) とともに 10 センチ口径のユニットとしては常識的な数値となっていることがわかる (Fig.4)。

#### 音声信号送り出し用デジタルデッキ

パイオニア社の DEH-970 をデジタルデッキとして

#### 主な仕様

形式	10cmコーン形フルレンジユニット
インピーダンス	FE103-Sol(8) : 8Ω FE103-Sol(16) : 16Ω
最低共振周波数	FE103-Sol(8) : 85Hz FE103-Sol(16) : 88Hz
再生周波数帯域	$f_0 \sim 40\text{kHz}$
出力音圧レベル	90dB/1w(m)
入力(MUS.)	15W(NOM.5W)
$m_0$	FE103-Sol(8) : 2.5g FE103-Sol(16) : 2.4g
$Q_0$	FE103-Sol(8) : 0.44 FE103-Sol(16) : 0.54
実効振動半径	4.0cm
マグネット質量	226g
総質量	0.65kg
ハッフル開口寸法	$\phi 93$
推奨エンクロージャー方式	FE103-Sol(8) : バスレフ、バックロードホーン FE103-Sol(16) : バスレフ
付属品	木ネジ×4本、ワッシャー×4個、パッキン×1枚

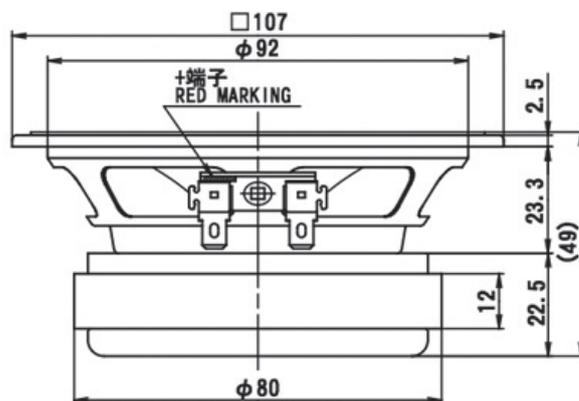
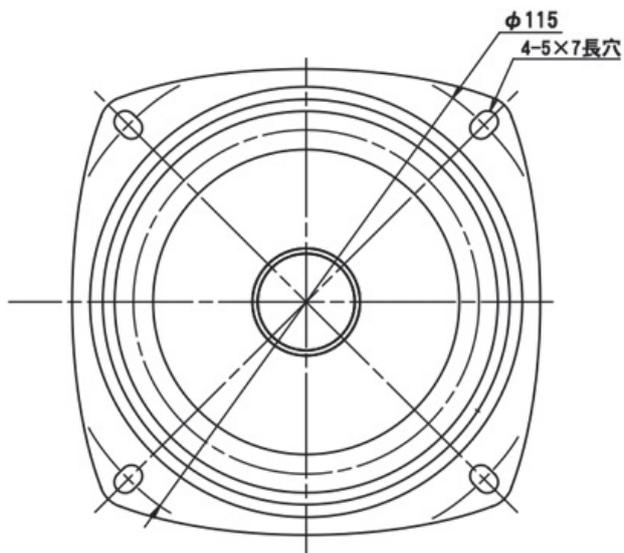


Fig.4

用いた。デジタル信号をアナログ信号に変換する D/A コンバータはバーブラウン社のものが搭載されている。定格出力はスピーカーインピーダンス  $4\ \Omega$  時で 20W、 $8\ \Omega$  時で 10W である。電源はモーターサイクル用 12V バッテリー FTZ14-BS (10 時間率容量 14Ah) を使用した。

スピーカの  $f$  特測定用シグナルとして、JAPAN AUDIO SOCIETY の AUDIO TEST CD-1 トラック 49 に収録されているピンクノイズを使用した。この音源を上記 DEH-970 にて再生させ、20Hz から 20kHz までの周波数特性を測定した。ピンクノイズはどのオクターブバンドでも等しいエネルギーになるように調整されたノイズであり、スピーカの周波数特性を測定する際に利用される。

### 吸音材

シンサレート (Thinsulate™) は米国ミネソタ州の 3M Company の日本代理店スリーエムジャパン株式会社から得た。カタログナンバー PPS-200、製造ロットナンバー 1017881167-30 のものを使用した。PPS-200 はシンサレート製品のうち音響用途に特化したもので  $200\text{g}/\text{m}^2$  の密度と表記されている (Fig.5)。

### サウンドアナライザー

周波数特性 ( $f$  特) の測定には PHONIC 社の PAA3X

を用いた。PAA3X の測定条件設定を周波数 20 ~ 20k Hz を 1/3 オクターブごと 31 バンドに分割、測定レンジ 40 ~ 100dB、周波数補正 (重み付け) は設定せず、flat とした。測定レスポンスは 250ms とした。スピーカー正面軸上 50cm にてピンクノイズ音圧レベルが 100dB となるようにデッキ出力を調整し、PAA3X を三脚にて設置し軸上 50cm にマイクロフォン先端が位置するように設置した (Fig.6)。

### 吸音材の取り付け

スピーカーの後部にパイプを接着し、クランプにてスタンドに設置した。スピーカ前面および後面を示す。後面の写真 および上記のスピーカの仕様図にも示されているように後面には台形状の開口部 (空気抜き用の穴) が 6 つ配置されている (Fig.7)。この



Fig.5



Fig.6

穴を通じて振動板背面から発する逆位相の音波が放射されることになる。この穴を塞ぐようにシンサレート吸音材を配置した。示している図(Fig.8～11)は、シンサレート吸音材を0g、10g、20g、40g 配置したものである。

#### シンサレート吸音材による f 特の変化

このスピーカユニットの理想状態に最も近い f 特はすでに示した通り、JIS 標準箱にて測定された f 特である。概ね聴取可能な周波数は 90～20k Hz であり、特に 200～20k Hz がほぼフラットな周波数特性となっている。それに対して、スピーカユニット単体時の、さらにシンサレート吸音材を装着し、さらに量を変化させたときの各 f 特を以下に示す。なお、1 回あたりの測定時間は 2 分間とした。各周波数バンドは 2

分間測定中のピーク値を示している。

#### ユニット単体の f 特 (Fig.8)

スピーカユニット単体にピンクノイズを印加して得られた f 特は図に示されている通り、実測音圧 97.7dB 条件下で 1kHz 以上の高音はほぼフラットに再生されている (基準レベル 80dB)。この結果は製造元の Fostex 社が発表しているこの製品の f 特 (JIS 箱装着時) と良い近似を描いている。一方、それ以下の周波数は再生能力が低く、低周波数域に向かって 40dB ほどレスポンスが落ち込んでいる。振動板 (コーン紙) 前・後面から発せられる指向性の弱い逆位相の低周波が互いに回り込んで打ち消し合ったためと推測できる。一方、高周波になるにつれて指向性が弱くなり、逆位相の音波が互いに回り込んで打ち



Fig.7

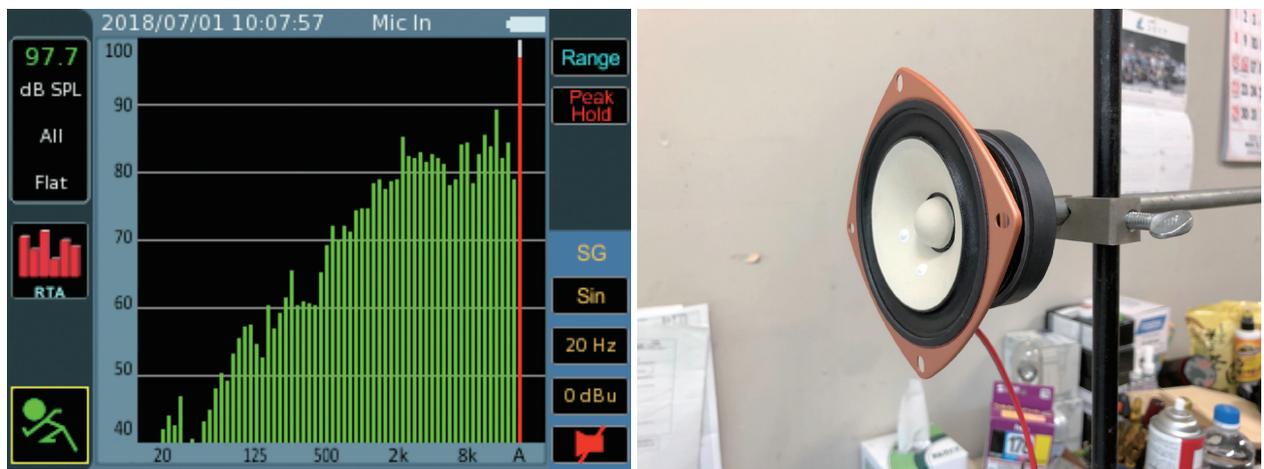


Fig.8

消しあう現象が減少するために音圧が高くなる様子が観察できた。まさにホイヘンスの原理 (Huygens-Fresnel principle) を再確認する結果であった。背面開口部からの漏出音圧は 87.2dB であった (スピーカー背面軸上 45 度、距離 50cm にて測定)。

#### シンサレート吸音材 10g を装着した際の f 特 (Fig.9)

シンサレート吸音材 (サイズ 10x50cm、10g) を、スピーカー背面の開口部を塞ぐように巻きつけ f 特を測定した。吸音材の固定にはナイロン糸を用いた。ピンクノイズ印加による f 特測定の結果、実測音圧 97.2dB 条件下でフラットな再生領域が 20k ~ 800Hz あたりまで低周波方向に拡大していることが認められた。800Hz 以上の高周波再生音圧は 80dB 以上を示し、高周波域の吸音材による再生不良は観察されな

かった。シンサレートを巻いた背面開口部からの漏出音圧は 83.6dB であった。

#### シンサレート吸音材 20g を装着した際の f 特 (Fig.10)

上記の状態から、さらに吸音材 (サイズ 10x50cm、10g) を追加した結果を示す。実測音圧 97.4dB 条件下で 20k ~ 500Hz あたりまでフラットな再生領域が増加している様子が示された。500Hz 以上の高周波数の再生音圧は 80dB 以上を示し、高周波域の吸音材による再生不良は観察されなかった。シンサレートを巻いた背面開口部からの漏出音圧は 85.3dB であった。

#### シンサレート吸音材 30g を装着した際の f 特 (Fig.11)

上記の状態からさらに吸音材 (サイズ 10x50cm、10g) を追加した結果を示す。実測音圧 97.7dB 条件下

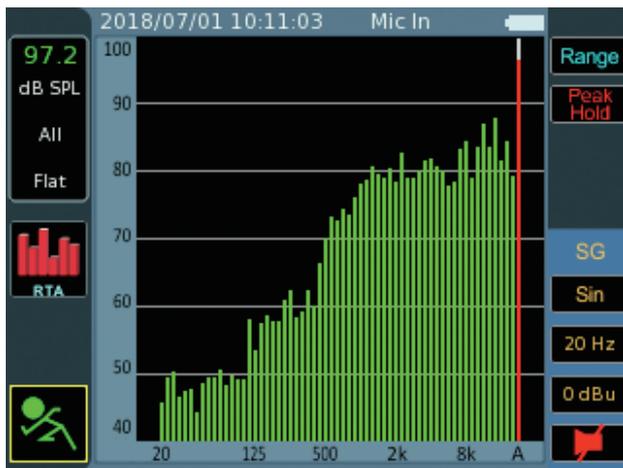


Fig.9

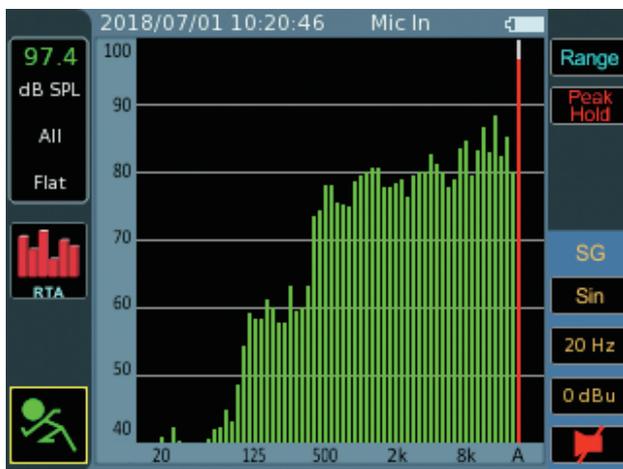


Fig.10



で 20k ~ 500Hz あたりまでフラットな再生領域が示された。500Hz 以上の高周波数の再生音圧は 80dB 以上を示し、高周波域の吸音材による再生不良は観察されなかった。シンサレートを巻いた背面開口部からの漏出音圧は 84.6dB であった。

#### シンサレート吸音材 40g を装着した際の f 特 (Fig.12)

上記の状態から、さらに吸音材 (サイズ 10x50cm、10g) を追加した結果を示す。実測音圧 97.7dB 条件下で 20k ~ 500Hz あたりまでフラットな再生領域が示された。500Hz 以上の高周波数の再生音圧は 80dB 以上を示し、高周波域の吸音材による再生不良は観察されなかった。シンサレートを巻いた背面開口部からの漏出音圧は 85.1dB であった。

結果に示したように、吸音材の量が増加するにつ

れて、高周波域から中周波数域へ (1000 ~ 500Hz) 再生可能域が増加する様子が明らかとなった。背面から放射される逆位相の音波に対してシンサレートが吸収作用を示し、前面に回り込み、相殺しあう周波数成分が減少するために測定上の音圧が上昇したものと考えられる (周波数域 1000 ~ 500Hz)。しかし、500Hz 以下の周波数域では、シンサレート吸音材の効果は認められなかった。考える理由は、周波数が低くなるほど吸音材の効果が低下し、吸音材から背面に漏出する音圧が増えてくるため、回り込み相殺が生じやすいためであろう。繊維と振動空気の摩擦によって音響エネルギーが熱に変換されることによって吸音作用が生じる。振動数が大きいほど (周波数が高いほど) 繊維との摩擦が大きくなり、吸音作用が生じやすく、振動数が小さいほど (周波数が低

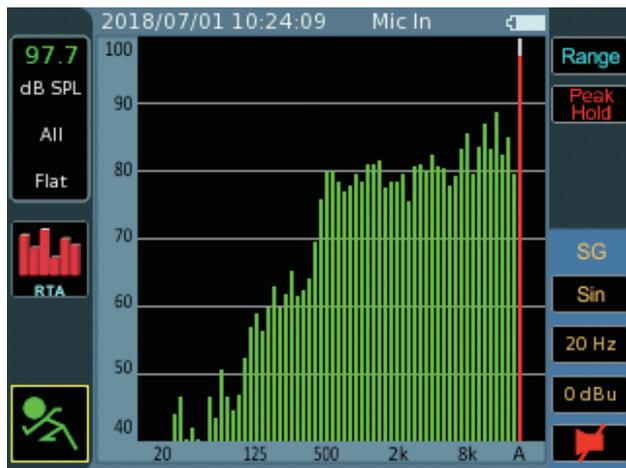


Fig.11

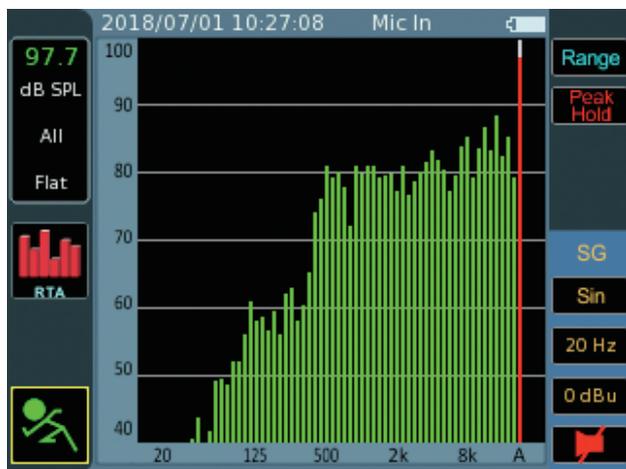


Fig.12

いほど) 繊維との摩擦が生じにくくなり、吸音作用が弱まると考察できるだろう。

1000 ~ 500Hz の音域ではシンサレート 30g までで吸音量が飽和してしまい、それ以上の量では吸音量が増加しないため、現条件下での音圧レベルでは 30g で良いという結果となった。背面に漏れる音波の吸音は周波数域 1000 ~ 500Hz に限っては吸音材の効果と音域が持つ指向性のために音波の回り込み相殺が効果的に抑制されている様子が示された。吸音材の使用はスピーカー設計の際には必須とされている。エンクロージャー内部に生じる定在波やパスレフポートから発せられる想定外雑音を低減させたり、さらにエンクロージャー内部の自由流動空気の動きを制御し、振動板のスティフネス (stiffness) を増大させ、音質を調整するなど、スピーカー設計に際して吸音材の仕様は必要不可欠な要素となっている。しかしながら、吸音材の使用には弊害をもたらす面もある。吸音材によってエンクロージャー内部の空気流動性を低下させることはスティフネスを増大させる結果、本来ならば、信号電流によって動作するべき振動板の過渡特性; トランジェント (Transient characteristics) が抑制され、再生音の情報量が減衰することが考えられる。今回の試行では、ピンクノイズのみの再生とその f 特の分析に止まっており、楽曲を再生させて

はいないため、吸音材を使用しない場合に比べて、どの程度のトランジェントが保持されているか? については判断ができない。普段からよく聞いているような楽曲を再生させてみれば、シンサレート吸音材のもたらすトランジェントの変化がわかりやすいと考えられるが、今回のようにピンクノイズのみの再生ではノイズの音調変化が、f 特にて示したように周波数域 1000 ~ 500Hz において音波の回り込み相殺の抑制による寄与なのか? 振動板のトランジェント変化によるものなのかの峻別ができなかった。今後の課題としては、楽曲再生におけるシンサレート吸音材の影響分析を調べるのがぜひ必要になるだろう。

### 参考文献

本稿では特に文中に参考文献を提示していない。ダイナミックスピーカー一般については古典的名著「ラジオ技術選書 108 長岡鉄男・図解スピーカ」を挙げる。また、各社から製造されているスピーカーや各種形式の自作キャビネットの特徴の解説については「長岡鉄男のオリジナル・スピーカー設計術 1 ~ 4」を参考にさせていただきたい。また本文中の Fig.2 ~ 5 については 3M 社、Fostex 社の関連製品解説ホームページより引用した。