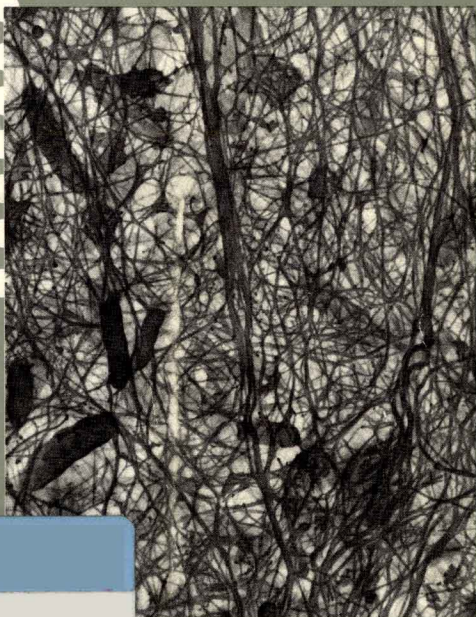
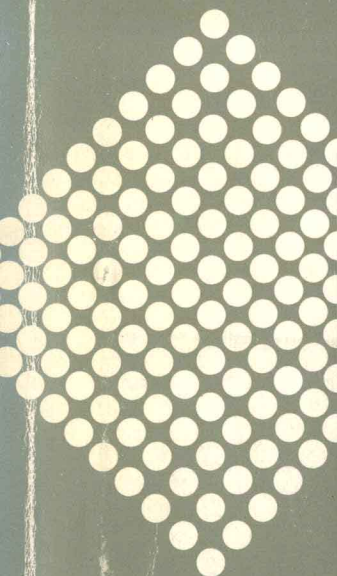


新素材 100 ●総監修・柳田博明（東京大学教授）

スピーカーと新素材

西 美緒（ソニー株式会社 中央研究所）



冬樹社
TOJU

西 美緒(にし よしお)

1966年 慶応義塾大学工学部応用化学科
卒業、同年ソニー㈱入社。以来、燃料電池・二次電池の研究、音響機器の開発に携わり、種々の材料の研究・開発を担当。現在、同社中央研究所、分子材料研究部次長。

新素材100
スピーカーと新素材

1990年11月30日 第1刷発行

総 監 修 柳 田 博 明
著 者 西 美 緒
企 画 アイシーエス株式会社
発 行 者 田鎖洋治郎
発 行 所 株式会社 冬 樹 社
東京都中央区明石町6-4
郵便番号 104
電話(03)543-4731(代表)
振替口座 東京8-7757
印 刷 株式会社 七 光 社
製 本 小高製本工業株式会社

© 1990 Yoshio Nishi ISBN4-8092-9028-X C3350
落丁本・乱丁本はおとりかえいたします。
定価は表紙に表示してあります。

新素材100
スピーカーと新素材

西 美緒



冬樹社

— 目次 —

はじめに	5
1 章 材料と音	7
2 章 スピーカーの構造	13
3 章 スピーカー振動板	17
3-1. スピーカー振動板に要求される物性	17
3-2. 紙振動板（コーン紙）	28
3-3. 高分子振動板	39
3-4. 金属およびセラミックス振動板	58
3-5. ハニカム振動板	66
3-6. その他の振動板材料	69
4 章 スピーカー・キャビネット	81
4-1. 必要な物性	81
4-2. 木材キャビネット	84
4-3. 高分子材料を用いたキャビネット	88
4-4. その他の材料	90
5 章 その他のスピーカー部品	93
5-1. フレーム材料	93
5-2. ボイス・コイル	94
5-3. 無酸素銅線	96
5-4. 磁性流体	98

おわりに.....	101
参考文献.....	103

はじめに

俳優の藤岡琢也さんは、知る人ぞ知る、熱烈なジャズ・ファンです。太平洋戦争中は敵性音楽ということでジャズは禁止されていました。なにしろ、英語はすべてだめで、野球の「ストライク」は「よし」、「ボール」は「だめ」に改められたという有名な逸話があるくらい、当局は神経質でした。銀座の「ワシントン靴店」は急遽、店名を「東条靴店」に変えたそうですが、店主の姓がうまい具合に（？）東条だったからという、ウソのようなホントの話も残っています。ジャズも聴いているのが分かるとたちまち憲兵隊にしょっぴかれるという時代だったのですが、それでも、藤岡さんはこっそりとジャズを聴いていたそうです。まだヘッドフォンなどの無い時代に、どうやって隠れて聴くことができたのでしょうか。まず、小指の爪をうんと伸ばします。爪の先を細く尖らせ、それで SP レコードの溝をトレースします。トレースしながらその手の親指を耳の穴にあてがうと、小指の先の振動が骨を通して耳に伝わり、音が聞こえるのです。我々が音を感知するのに二通りの方法があって、一つはどなたもご存じの鼓膜を介して音を聞くものですが、もう一つ、骨伝導と呼ばれる音の伝わり方があるのです。頭蓋に振動源を接触させると振動が骨質に直接伝わって内耳に達し、音として聞こえるというものです。晩年に耳の聞こえなくなったベートーベンが、ピアノを弾く時に棒を口にくわえ、そのもう一方の先をピアノの胴に付けておいて、胴の振動を歯に伝えて音を聞いたというエ

ピソードがありますが、これがまさしく骨伝導の応用です。藤岡さんはこのベートーベンのひそみになったというわけです。

今日の我々はありがたいことに、いろいろなオーディオ装置に恵まれています。良い音で音楽を楽しむことがなにより不自由なくでき、藤岡さんの苦勞をしのぶようですがありません。しかも、音質向上への努力は日々たゆまず続けられ、プログラム・ソースおよび再生装置の両面から、良い音の探求が行われています。本書では、オーディオのほんの一側面にしか過ぎないスピーカーの、そのまたほんの一部である振動板やキャビネットの材料という限られた視点からではありますが、オーディオ装置と音の問題について考えてみたいと思います。音がデリケートに材料に係わっており、非常に奥の深いものであることをいささかでも感じ取って頂ければ幸いです。

1 章 材料と音

幾何学で名高いギリシャのユークリッドは紀元前 300 年頃にすでに「音響学」という本を著していました。また、紀元前 30 年頃には、やはりギリシャのヴィトルヴィウスがその著「建築学」の中で、野外劇場や楽器の音響学について述べていると言われています。人々が 2000 年以上も前から音響に強い関心を持っていたことがうかがわれます。しかし、演奏会を実際に聞くことのできたのは、わずかの人に限られ、庶民には縁遠い存在という状態が長い間続きました。音楽が人々の身近なものとなったのは、レコードの登場によって好きな時に好きな場所で音楽を聞くことができるようになってからといえるでしょう。1877 年にエジソンが 蠟管式蓄音機を発明して「メリーさんの羊」を初めて吹き込み、ベルリナーが円盤レコードを発明（1887 年）して以来、レコードはめざましい進歩を続けました。日本で最初に録音を行ったのは乃木將軍で、「私は乃木希典であります」というほんの数秒間の短い、しかも、ノイズの彼方からやっと聞こえてくるというような代物でした。その後の SP、EP、LP、ステレオ、コンパクト・ディスクといったプログラム・ソースの音質向上や、オーディオ装置の進歩を考えると隔世の感があります。オーディオ装置の中でも、スピーカーはいわゆる「音の出口」として、システム全体の音質を大きく左右する重要な部分で、その改良には大きな努力が払われてきました。

スピーカーの音質は振動板やキャビネットに使われる

材料によってかなりの部分が決まります。従って、材料開発がスピーカーの音質向上の「鍵」だと言っても過言ではなく、スピーカー改良の歴史のかなりの部分が材料開発の歴史であるとも言えそうです。

「鍵」といえば、谷崎潤一郎の「鍵」という作品をご存じでしょうか。この小説は妻と夫がお互いに内緒で日記を書き綴っていくという形で話が展開します。妻は日記を付けていることを夫に気付かれまいとして非常な注意を払っています。字を書く音さえも立てぬよう、雁皮（がんび）紙で作った日記帳に筆を使って書くほどの細心さです。この雁皮紙は日本で古来より使われてきた代表的和紙で、雁皮という小灌木の皮から得られる繊維を原料として作られます。正倉院に保存されている当時の書類や絵画にも多く用いられており、今日でも当時のままの姿で見ることができます。緻密、優雅で耐久性に富むことから、ヴェルサイユ条約（1919年）の際の条文用紙にも使われたという高級な紙です。ところが、この雁皮紙を丸めたり折ったりしますと、ぴらぴらという特有の音がします。「鍵」ではこの音が重要な役割を果たしています。ある夜、妻がいつものように茶の間で日記を付けていると、二階から夫が降りて来る音がします。妻はあわてて日記帳をテーブルの下に押し込みます。ところがこの時、雁皮紙が例のぴらぴらした独特の音を立ててしまいます。夫はその音から、妻が雁皮紙を日記帳に使っていることを察知し、妻の留守中に日記帳を簡単に発見してしまうという筋立てになっています。雁皮紙の持つ固有音に着目して、小説の重要な小道具に使うあたりは、さすが、文豪谷崎です。

ところで、このような固有音は紙に限ったことではなく、あらゆる材料に存在し、音響材料ではその固有音が楽器やオーディオ機器の音質に対し重要な役割を担っています。スピーカー振動板用材料は後に述べますように、いろいろな物理特性を満足しなければなりません、それだけでは良い音のスピーカーを作ることはできません。振動板材料が良い固有音を持っており、振動した時に良い音で鳴ることが必要です。

材料が音質を決定付けたといわれている代表的な例が、イタリアのクレモナで作られたヴァイオリン群です。その代表的な作者はストラディヴァリ（1644?～1737）で、彼は生涯に 1116 個のヴァイオリンを製作したと言われています。そのうち 540 個が現在も残っており、いずれも素晴らしい音を聴かせてくれています。その他にも、チェロ 50、ヴィオラ 12 が残されているそうです。この名器の音をなんとか再現しようと多くのヴァイオリン製作者が何度も挑戦してきました。しかし、科学の発展による製作技術の進歩にもかかわらず、ストラディヴァリをしのぐヴァイオリンは未だに作られていません。最近では、クレモナの音の秘密は使われている材料にあり、当時と同じ材料を使わない限りはクレモナの栄光は再現できないのではないかとの説が有力になってきています。もっとも、これには二説あり、鍵となっている材料はワニスであるとする説と、いや、木材が音の決め手になっているんだとする説が論争を繰り返しています。ソ連のヤンコフスキー教授は、最近作られたヴァイオリンに使用されているエゾマツと、二百数十年前に建てられたモスクワ大学のビルに使われているエゾマツの音響特性を

比較してみたそうです。その結果では、古い木材の方が特に中音域特性において明らかに優れていたということです。だとすると、木材の寄与するファクターの方が大きいのかもしれません。

いささか話がスピーカーから脱線してしまいましたが、音と材料には深い関係があるということが理解して頂けたと思います。

スピーカー振動板には古くから紙が使われ、円錐形（コーン形）をしていますので、コーン紙と呼び習わされてきました。しかし、最近では、紙以外にもいろいろな材料がスピーカー振動板に応用されるようになってきました。これらもまたそれぞれに固有音を持っており、音質を大きく左右します。スピーカーの音質の関わるのは振動板材料だけではありません。極端なことをいいますと、スピーカーをキャビネットに固定するネジ 1 本に至るまで、すべての部品が音に影響します。また、アンプや CD プレーヤーのような、音を直接放射しない機器に使用する材料も音質に変化をもたらします。従って、オーディオ機器の音質を論じるに当たっては、機器の種類を問わず、どんな材料が使われているかが、多かれ少なかれ関心事となってきます。紙数の関係ですべてのオーディオ機器に触れる余裕がありませんので、本書では最も音と関係の深いスピーカーについて、特に振動板を中心に、どのような材料が使われているかを紹介したいと思います。

なお、本書では、材料と音が密接な関係を持つハイファイ・スピーカーを主として扱います。ラジオ、テレビ、テープレコーダー、ラジオ付きカセットなどに使われる

スピーカーは、ここでは便宜上、小型汎用スピーカーと呼び、必要に応じて扱うことにします。また、ヘッドフォンも原理的にはスピーカーの一種と考えられますので、折に触れて述べたいと思います。

2 章 スピーカーの構造

スピーカーにはいろいろな方式のものがありますが、現在もっとも広く使われているのは、ダイナミック・スピーカーと呼ばれるものです。そこで、ここではダイナミック・スピーカーの構造、原理などを簡単に紹介し、それ以外の方式については、後の項で必要に応じて触れていきたいと思います。

ダイナミック・スピーカー・システムの構造を図1に示します。キャビネットの前面をバフル板と呼び、スピーカー・ユニットが取り付けられています。図1のようにキャビネットにスピーカーやその他の必要な部品が取り付けられたものをスピーカー・システム、システムに使われている個々のスピーカーをスピーカー・ユニットと呼んでいます。1台のシステムには通常、複数個のス

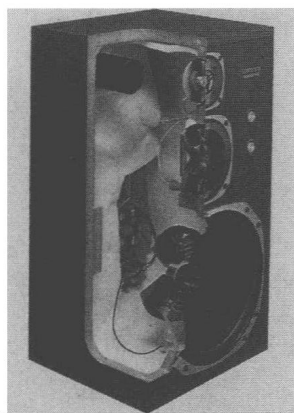


図1. スピーカー・システムのカット・ビュー

ピーカー・ユニットが使われます。高音部、中音部、低音部を受け持つユニットを順に、トゥイーター (tweeter)、スクォーカー (squawker) またはミッドレンジ、ウーファー (woofer) と呼んでいます。tweet は (小鳥が) さえずる、squawk は (あひるなどが) ガーガー鳴く、woof は (犬などが低い声で) うなる、という意味ですが、各ユニットの音の特徴を言い得て妙ですね。

最近では、トゥイーターよりさらに高い音を受け持つためのスーパー・トゥイーター、ウーファーより低い帯域をカバーするスーパー・ウーファー、さらには、2 個のミッドレンジ (ハイ・ミッド、ロウ・ミッド) というように、より多くのユニットを使用したシステムもみられます。

キャビネット内部には、内部に放射される音を吸収するための吸音材が詰められています。

スピーカー・ユニットの構造を図2に示します。ユニットの主要構成部品は振動板とマグネット (磁気回路)

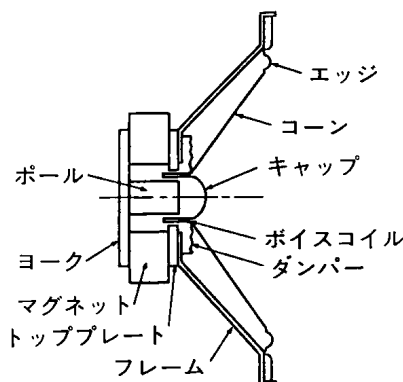


図2. ダイナミック型スピーカー・ユニットの構造

で、これらはフレイムと呼ばれる支持体に固定されています。振動板の外周部とフレイムを接続する部品をエッジ、振動板の内周部とフレイムをつないでいる部材をダンパー（または、スパイダー）と呼んでいます。紙などで作られた円筒（ボビン）に細い電線を巻いたものをボイス・コイル（図3）と呼び、ボイス・コイルはコーン紙の頂部と貼り合わされています。

ここにはコーン型を示してありますが、振動板の形状にはその他に、半球状のドーム型、まったく平坦な平面型などがあります。

スピーカーの動作原理は次の通りです。まず、音響信号に対応する電流がボイス・コイルに流れます。ボイス・コイルは磁気回路の狭い隙間（ギャップ）に納められていますので、フレミングの左手の法則に従ってボイス・コイルに力が作用し、ボイス・コイルすなわち振動板が前後に振動して音を放射します。入力音響信号に対応していかに忠実に振動板を振動させるかが、スピーカーの性能を決める上で重要な課題となるわけです。

音というのは空気の振動です。物体の振動が空気に伝

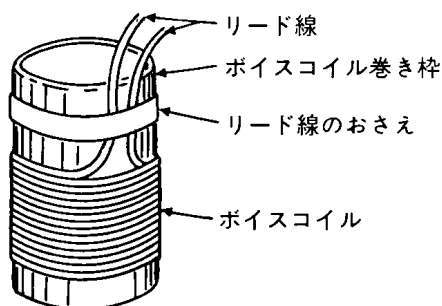


図 3. ボイス・コイル