

## ■ 要旨

音の記録の歴史は、1877年のトーマス・エジソンによる、円筒式蓄音機「フォノグラフ」の発明で始まり、1888年には米国のオバリン・スミスが、蓄音機とは原理の異なる磁気記録の構想を発表した。10年後の1898年にデンマークのヴァルデマール・ポールセンが世界初の磁気録音機である、ワイヤレコーダー「テレグラフフォン」を完成させた。ワイヤレコーダーは大きく普及することはなかったが、磁気録音の研究は世界各国で続けられ、1920年代に鋼線の代わりに、細かい磁性体を塗ったテープを記録媒体として使う磁気録音機が発明された。これを原型として1930年代のドイツで近代的テープレコーダーにつながる「マグネトフォン」が作られた。第二次大戦後、マグネトフォンの技術は米国によって詳しく調査された結果、本格的なテープレコーダーが完成し、放送局で録音放送用に使われるようになった。テープレコーダーは従来の円盤式録音機に比べて、録音に適した特長を持っていたため短期間で受け入れられた。程なく民生用テープレコーダーも多く作られ普及が始まるが、日本では東京通信工業がテープレコーダーの開発に早くから取り組み、独力で磁気テープと録音機を開発し、1950年に日本初のテープレコーダーを発売した。

1960年代になると、カーステレオの増大が一つのきっかけとなってカートリッジ式テープレコーダーの提案が相次ぎ、コンパクト・カセットが誕生した。日本メーカーはコンパクト・カセット式テープレコーダーの性能向上と小型軽量化に、技術面、商品面で多大な貢献を果たし、世界のテープレコーダー市場を席巻するまでになった。1979年には、コンパクト・カセットの普及を背景に「ウォークマン」が登場し、音楽リスニングのスタイルを大きく変える大ヒット商品となった。

本報告書では、音の記録技術の誕生から初期のテープレコーダーまでの歴史を振り返り、1960年代以降のコンパクト・カセットを中心とした技術と商品の系統化を試みた。「ウォークマン」については、小型化のための技術開発と商品コンセプトについて述べ、またテープレコーダーの最終発展型であり、デジタル・オーディオの先導役となったDAT (Digital Audio Tape recorder) の開発についても概要をまとめた。

日本の音響メーカーは、戦後、比較的早くからテープレコーダーの製造、販売を始めていたが、1970年ころから部品メーカーの技術力が向上し、精密な機械部品や高性能な電子デバイスが手に入りやすくなった。製品設計と部品技術がお互いの進化を促す好循環が、製品の競争力を非常に強くし、コンパクトカセット式テープレコーダーで大きな成功を収め、さらに世界中のオーディオ機器と音楽の楽しみ方を大きく変えるウォークマンを生み出し、世界のオーディオ市場で確固たる地位を築いた。昨今の音響機器は小型のメモリータイプのデバイスで、音楽ソースは圧縮音源が主流になっているが、現状にとどまることなく、より良い音を、より心地よく簡単に楽しめるような、画期的な製品やサービスが日本の業界から生まれることを期待したい。

## ■ Abstract

The history of sound recording started with the “Phonograph,” the machine invented by Thomas Edison in the USA in 1877. Following that invention, Oberlin Smith, an American engineer, announced his idea for magnetic recording in 1888. Ten years later, Valdemar Poulsen, a Danish telephone engineer, invented the world's first magnetic recorder, called the “Telegraphone,” in 1898. The Telegraphone used thin metal wire as the recording material. Though wire recorders like the Telegraphone did not become popular, research on magnetic recording continued all over the world, and a new type of recorder that used tape coated with magnetic powder instead of metal wire as the recording material was invented in the 1920's. The real archetype of the modern tape recorder, the “Magnetophone,” which was developed in Germany in the mid-1930's, was based on this recorder.

After World War II, the USA conducted extensive research on the technology of the requisitioned Magnetophone and subsequently developed a modern professional tape recorder. Since the functionality of this tape recorder was superior to that of the conventional disc recorder, several broadcast stations immediately introduced new machines to their radio broadcasting operations. The tape recorder was soon introduced to the consumer market also, which led to a very rapid increase in the number of machines produced. In Japan, Tokyo Tsushin Kogyo, which eventually changed its name to Sony, started investigating magnetic recording technology after the end of the war and soon developed their original magnetic tape and recorder. In 1950 they released the first Japanese tape recorder.

In the 1960's several cartridge-type tape recorders were developed to meet the requirements of car-stereo devices, and finally, the compact cassette system was introduced. Japanese manufacturers contributed to improving the basic recording performance of compact cassette recorders and to expanding the variety of available products, especially small-sized tape recorders. As a result, they attained a large market share in the worldwide tape recorder market. In 1979 the “Walkman,” a portable compact cassette player, was introduced to the market, and in a very short period it became very popular all over the world. The product concept of the Walkman was well accepted, and it changed the style of audio listening dramatically.

In this report I briefly describe the history of sound recording, particularly the progress and relation of magnetic recording technologies in the compact cassette system. I also describe the product concept and downsizing technologies of the Walkman. In the last section, I explain the development of digital audio tape (DAT), an advanced tape recording system that led to the rise of digital audio technology.

Japanese audio manufacturers joined the tape recorder market relatively soon after the end of World War II. Around 1970 the technical capabilities of device manufacturers increased rapidly, and many superior devices such as precision mechanical components and high-performance electrical devices became available on the domestic market. The synergy effect between product design and device technologies improved the competitiveness of the final products, and Japanese audio manufacturers achieved success in the compact-cassette tape recorder market. They changed the style of listening and the audio product itself with their introduction of the stereo-headphone “Walkman” in 1979. They ultimately succeeded in getting a huge market share of the worldwide audio market.

Many people have recently been enjoying listening to music supplied in a digitally compressed format with small portable devices and headphones. However, it is hoped that the Japanese audio industry will develop a revolutionary new product or service for a more comfortable listening experience with even better sound.

## ■ Profile

**君塚 雅憲** *Masanori Kimizuka*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和48年	3月	大阪大学工学部機械工学科卒業
昭和48年	4月	ソニー株式会社入社
		音響機器、ストレージ機器の開発・設計に従事
平成18年	2月	株式会社スタート・ラボ 代表取締役
平成23年	12月	同社退社
		ソニー株式会社退社
現	在	東京芸術大学 非常勤講師
		日本オーディオ協会 理事

## ■ Contents

1. はじめに	185
2. 音の記録	187
3. 磁気録音の発明	189
4. 戦後のテープレコーダー	197
5. 国産テープレコーダーの発展	206
6. カートリッジ式テープレコーダーの登場	215
7. コンパクト・カセット式テープレコーダーの構成と性能	224
8. コンパクト・カセットにおける磁気テープ	227
9. コンパクト・カセット用磁気ヘッドの進歩	229
10. コンパクト・カセットでの3ヘッド方式開発	234
11. ノイズリダクション・システム	238
12. 駆動モーターの進歩	244
13. ヘッドホン・ステレオへの道程	251
14. デジタル・オーディオ・テープレコーダー (DAT) の開発	258
15. まとめ	269
テープレコーダーの系統図	271
年表	272
テープレコーダー 登録候補一覧	273

# 1 | はじめに

人類は数万年前から岩肌にいろいろな絵を描き残してきた。神への儀式として描かれたとされる、有名なアルタミラ洞窟に残された生き生きとした動物たちは、当時の人々が残した静止画記録そのものであった。絵と同じように音を残すことも太古からの人々の夢であったが、物語や歌などを口伝として伝える以外に音を残す手段はなかった。やがて文字が発明され、音声の記録は「文字による言葉の記録」という革新的方法が担うようになる。言葉の記録より音そのものに意味がある音楽については、記号を使うことによって記録することが考え出され、いくつもの文明で独自の記号や文字が工夫され使われた。しかし、これらの「楽譜」はあくまで間接的な音楽の記録であり、音そのものの記録は長い間、夢のままであった。

19世紀の中ごろになって、音声は波として伝わるとの知見を基に、変化する音の波形を時間軸に沿って記録する機械が仏のレオン・スコットによって考え出された。レオン・スコットの機械は音の波形の記録はできたものの、記録された波形を元の音として再現することはできなかった。約20年後の1877年になって、米国のトーマス・エジソンが、錫箔を貼った真鍮の円筒を使い、この円筒上に記録した音の波形を振動として取り出し、元の音を再生する機械、すなわち蓄音機「フォノグラフ」を発明した。人類史上初めて音を記録し、再生する機械が誕生した瞬間であった。蓄音機はその後円盤式という優れた改良型が生まれ、録音機としてだけでなく、レコードという形で家庭での音楽再生装置としての進歩を続けていくことになった。円盤式録音機は、ラジオ放送の普及に伴って音声の記録・再生装置として重要な機材となり、第二次世界大戦が終了するころまでには、多くの放送局で使われるようになっていた。円盤式レコードも音質改善や長時間化、ステレオ化へと進化を続けるが、音の記録の原理は、音の波形をそのまま媒体に刻む機械式記録方式であった。

同じく19世紀には電気通信技術が急速に発達し、電信の実用化に続いて1876年には米国のグラハム・ベルによって音声そのものを伝える電話が発明された。電話で使われる電気に変換された音声を、磁気の変化として記録することを考えたのが米国のオバリン・スミスであり、世界で初めて磁気記録の構想を論文として発表した。この構想に刺激を受けた技術者の中で、デンマークのヴァルデマール・ポールセンが

1898年に銅線を使ったワイヤーレコーダー「テレグラフフォン」を作り、これが世界初の実用的な磁気録音機となった。

第二次大戦が始まる少し前に、ドイツにおいて銅線をテープに置き換えることによって扱いやすくした磁気録音機が提案され、テープレコーダーの原型が誕生した。戦争の影響で磁気録音に関する各国の技術交流は途絶えたが、ドイツではテープレコーダーの研究と改良が続けられ、戦争が終わるまでには、交流バイアスやステレオ記録など先進的な技術を搭載したテープレコーダーを完成させていた。戦後、磁気録音関連のドイツの技術について連合国による詳細な調査が行われ、米国でのテープレコーダーの開発に幅広く活用されることとなった。このとき米国でテープレコーダーの開発に名乗りを上げたのは、創設間もない零細なアンペックス社であったが、瞬くうちに業界をリードする企業となり、テープレコーダーの発展と技術的進歩に大きな貢献を果たすことになった。欧州では少し遅れて、やはり小企業であったスイスのスチューダー社がテープレコーダーの開発者として活躍を始め、業務用から高級民生機まで優れた機種を開発し、欧州における盟主の位置を占めた。日本では戦後間もなく設立された東京通信工業（後のソニー）が磁気録音の可能性を信じて研究を続け、何もなかった戦後の日本で国産初のテープレコーダーを1950年に完成させた。戦後、優れた資質を秘めたテープレコーダー技術が公のものとなり、日米欧で同じようにベンチャー企業がテープレコーダーに挑戦し、ものにしていった構図は興味深いものがある。

テープレコーダーの普及は業務用から始まったが、すぐに一般用途向けの機種も開発され、家庭への普及も比較的早くから始まり、米国ではレコードよりも早くステレオ化されたミュージックテープが発売されるなど、エンターテインメント用のオーディオ機器としても愛用されるようになった。またカーステレオへの応用を契機として、取り扱いの容易なカートリッジ式テープレコーダーが注目されるようになってきた。1960年代の前半、複数のカートリッジ方式が提案される中で、オランダのフィリップス社が提案したコンパクト・カセットが、特許権の無償許諾という方針が奏功して実質的な世界標準として定着することになった。このころ日本企業はAV機器の開発・設計について自信を深めつつあった。使用する電子部

品、機械部品を供給する部品メーカーの技術力も向上し、高品質で先進的な部品を次々と開発し、いち早く設計に取り入れることも積極的に行われた。また、コンパクト・カセット式テープレコーダーのように、標準化された規格の中で最高の性能・機能を発揮させようとする技術開発は、細かく丁寧でかつ粘り強い仕事要求される面があり、日本企業の体質に合致していたと思われる点も見逃せない。こうしてコンパクト・カセット式テープレコーダーの分野は日本がリードするようになる。同時に他のオーディオ機器も世界的に高い評価を得て、1970～1980年代に日本のオーディオ産業は全盛期を迎える。1979年にはコンパクト・カセットの普及を背景として、ヘッドホン・ステレオ「ウォークマン」が登場した。家庭内で聞くことが常識だったオーディオを屋外に連れ出し、いつでも、どこでも良い音をパーソナルに楽しむ…という全く新し

いオーディオのコンセプトを具現化して見せ、世界を席卷する大ヒット商品になるとともに、音楽リスニングのあり方を根本的に変えるという革命を起こしたのであった。

本報告書では、2章～5章で音の記録の歴史から、磁気録音の発明、初期のオープンリール式テープレコーダーの進化について触れた後、6章～12章でコンパクト・カセットを中心に、テープ、ヘッド、ノイズリダクション、モーターなど要素技術の進歩について述べた。13章ではコンパクト・カセット機器の発展とヘッドホン・ステレオ「ウォークマン」の誕生と進化について記述した。14章はコンパクト・ディスクに代表される、デジタル・オーディオ時代の先導役を果たしたデジタル・オーディオ・テープレコーダー(DAT)の開発について記述した。

## 2 | 音の記録

### 2.1 レオン・スコットによる音の記録

人類の文明が発達するに従って文字が発明され、さまざまな事象の記録と伝達が可能になった。大量の知識を残し、広範にまた長期間にわたって伝えることができる文字の発達は文明のさらなる進歩と拡大を促したが、有史以来、人類にとって文字による記述が（絵による記録も含むが）記録の唯一の手段でもあった。音声や音楽、すなわち音をそのまま記録・保存し、再生することは人類の古くからの夢であったが、なかなか実現させることはできなかった。19世紀になって、大きく進歩した近代的な科学・技術の知見を基に、この夢を現実のものにするべく試行錯誤が始まり、20世紀に到達する前に大きな成果を生むことになった。

音は空気中を伝わる波であり、時間とともに変化する粗密波である。従って音を記録するには時間軸に沿ってその変化を記録することが必要になる。空気の粗密を振動として捉えることができれば記録が可能になるであろうという考えの下、1857年、フランスの印刷技師レオン・スコット（Édouard-Léon Scott）が音の波形の記録に成功する。石ころのホーンで音をとらえて振動板に伝え、その振動板に付いた豚の剛毛で、すすを付けたシリンドラーに音の波形を記録するという方法であった。シリンドラーは回転させるに従って軸方向に移動するようになっており、音の波形が円筒の上に連続した1本の線として記録されるというわけである。この機械は「フォノトグラフ（Phonautograph）」と名付けられ、音の記録の実験装置として何台も製作されたようである（図2.1）。またシリンドラーに直接すすを塗る形式から、あらかじめすすを塗った紙をシリンドラーに巻き付けて記録紙として保存できるようにする、という改良も加えられた。このフォノトグラフは音の記録はできるものの、記録された波形から元の音を再現する手段がなく、再生は不可能であった。しかしこの機械が多くの科学者や技術者を刺激し、音をとらえて再生する機械の発明に夢中にさせることになった。

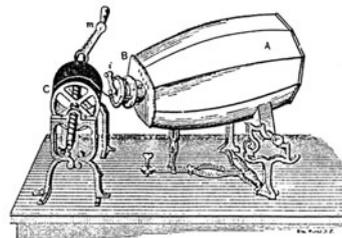


図2.1 レオン・スコットの「フォノトグラフ」<sup>1)</sup>

### 2.2 蓄音機の発明

フォノトグラフの発明から20年後の1877年、米国の発明家トーマス・エジソン（Thomas Edison）は、フォノトグラフと似た円筒式のシリンドラーを使った装置で音をそのまま記録し、再生することに成功する。シリンドラーは真鍮製で外周に錫箔が巻き付けられており、ハンドルの付いた軸に取り付けられている。シリンドラーの両側には針の付いた振動板を装備した円筒状の管が設けられており、それぞれが記録用、再生用の集音器と拡声器になっている。音を記録するには集音器の針をシリンドラーに押し当て、ハンドルを回しながら声を吹き込むと、音が針を通してシリンドラー上の錫箔に波形として記録される。再生するときはこの記録された溝を再生用の振動板に付いた針でトレースしていくと、記録された波形に従って振動板が震えて音となる、という非常に単純かつ明快な機構であった。エジソンは直ちに特許を申請することを決意し、同時にこの機械を「フォノグラフ（Phonograph）」と命名した（図2.2、図2.3）。レオン・スコットのフォノトグラフが発想の原点になっていることはうかがえるものの、錫箔という記録用の材料や振動板、針の構成などさまざまな創意工夫と実験の積み重ねが込められており、このフォノグラフの実現によって、ついに世界で初めて録音という夢が現実のものとなったのである。「話す機械」の発明はまたたくうちに世界中で大きな評判となり、フォノグラフという名前も広く知られるようになっていった。発明の翌年1878年には早くも日本で文学雑誌の記事上で「蘇言機」と訳されて紹介されており、翌1879年には東大教師の英国人ジェームス・ユーイング（James Ewing）によって公開実験が行われた。このとき実験に参加した東京日日新聞社の福地源一郎社長によって「蓄音機」という呼び方が生まれ、その後日本ではこの名前が定着した。

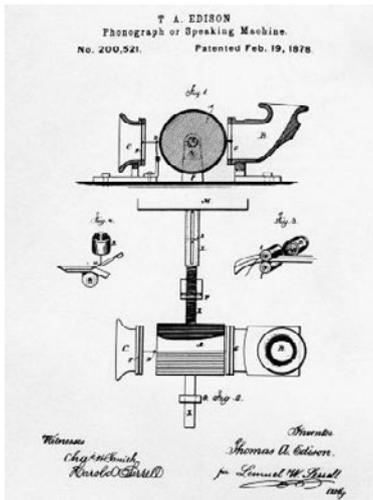


図 2.2 フォノグラフのpatent文<sup>2)</sup>

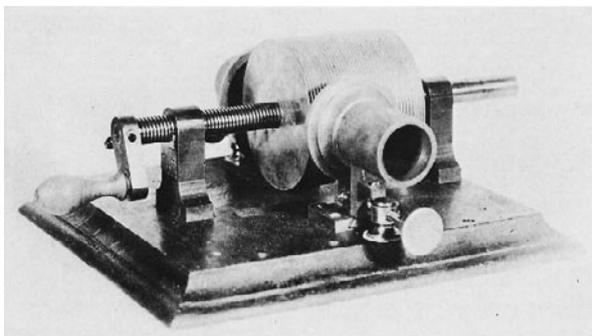


図 2.3 エジソンの「フォノグラフ」<sup>3)</sup>

## 2.3 円盤型蓄音機の登場

電話機の発明で有名なグラハム・ベルが創設した研究所（後のベル研究所）でも蓄音機に深い興味をいだき、その改良研究を目指していたが、このころ研究所に雇われた研究者にエミール・ベルリナー（Emil Berliner）という人物がいた。彼は19歳のときドイツから米国に渡った技術者で、蓄音機の改良研究にも取り組み、エジソンの円筒式蓄音機に大きな感銘と刺激を受けると同時に、その問題点も把握していた。エジソン式ではシリンドラーの中心に向かって垂直方向に音の波形を刻んで記録するが、これでは音の大小により刻まれる溝の深さが変化するので、音をひずませる原因になるのではないかと考え、水平方向に波形を刻むことを考え付いた。さらに円筒型のシリンドラーではなく、円盤型の記録媒体を使うことを思いついた。こうしてエジソンの蓄音機から10年後の1887年に円盤式蓄音機とレコード盤が誕生することになった。この機械は「グラモフォン（Gramophone）」（図 2.4）と

名づけられ、音の記録機としての歴史に大きな足跡を刻んだ。ベルリナーは単なる蓄音機の発明にとどまらず、記録した円盤の複製を作り、いわゆるレコードとして大量に生産・販売するビジネスモデルの基本を考え出した。記録された原盤から刻まれた溝を忠実に写し取った鋳型を作り、その鋳型を使って大量に複製を作るといふ、近代的なレコード製作の原型であり、その後のレコード産業・音楽産業の歴史を大きく開いていくことになった。この複製作りの工程にとって、円盤式は円筒式よりもはるかに適しており、両方式のフォーマット論争を決着する切り札の一つとなったのも事実である。円盤型レコードは長時間化、高音質化、ステレオ化、など技術的改良による進化を続け、20世紀後半まで再生音楽の中心的存在として愛用されてきたが、円盤に刻まれた機械的な溝を針でなぞって音にする、という原理はベルリナーの蓄音機と基本的に同じであった。録音過程においても、初期には声（または音）そのもので振動板を動かして波形を記録するという方式から、マイクロホンを使った電気録音方式へと進歩し音質的には非常に改善されていったものの、再生同様、やはり原理的にはベルリナーの蓄音機と同じであった。



図 2.4 ベルリナーの「グラモフォン」<sup>4)</sup>

### 引用

- 1) 森芳久 他：「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011年3月、p.16
- 2) 森芳久 他：「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011年3月、p.20
- 3) 森芳久 他：「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011年3月、p.18
- 4) 森芳久 他：「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011年3月、p.27

# 3 | 磁気録音の発明

## 3.1 オバリン・スミスの業績

エジソンによって音の記録という人類の夢は現実のものとなり、円筒型蓄音機はベルリナーによる円盤型蓄音機へと進化を遂げる。蓄音機の発明は単なる音の記録にとどまらず、複製されたレコードによる家庭での音楽聴取という新たなエンターテインメントを産業として生み出す契機ともなっていた。これら蓄音機はいずれも機械的に音の波形を媒体に記録し、やはり機械的にその波形を振動として取り出す、というのが基本的な原理であった。1888年ごろ、米国の機械技師オバリン・スミス (Obelin Smith) は、電話の音声の記録装置を考えていたが、蓄音機とは全く違う原理で音を記録する構想を発表した。スミスはフォノグラフに強い刺激を受け、機械的記録とは全く異なる、世界初の磁気録音方式の構想を固めたが、これを一般に公開することによってより多くの英知を集められると考え、特許で囲い込むことをせず「The Electrical World」誌に自分のアイデアを発表した。以下にオバリン・スミスが発表した磁気録音の着想をあげておく。

『…次に提案する装置は、純電気的な蓄音機であり、そのまま録音機として考慮すべきを満足させる唯一のものである。図 3.1 はその基本回路図で、(a) はその録音部、(b) は再生部を示す。図中の D、E、B、C 等は両部ともに同じものが使用できる。

同図 (a) において、通常の電話機 A に音声または

他の音を加える。できれば炭素型の送話器で、その回路の中に電池 F をもったものがよい。そうすれば適度な強さの電流を流せるからである。ただし、ベル社の電話機ならば電池なしで役立つだろう。いずれの場合でも電話機には音の振動に対応した波長と強さの電流が発生する。その電流がコイル B に流れ、硬化されたいかなる鋼鉄片も、このコイルに入った時点で永久磁石となる。このコイル B を通過する鋼鉄 C はコード状のもので、リール D から繰り出され、リール E に巻き取られる。リール E は手動、時計仕掛けまたは他の方法で回転させる。J は張力バネまたはブレーキで、それをリール D に押し付けてコード C を強く張らせる。電話機 A からの波動電流がコイルを流れ、そのコイルをコード C が通過すると、コードはあたかも強弱の短い磁石が交互に並んだものとなる。

これらの磁石の実際の長さはコードの走行する速さに比例するが、それらの間の相対的な長さは音波の相対的強さに比例する。コード C として有望な構造は、綿、絹、その他の縫糸で、その繊維のなかに硬化した鋼鉄の粉末または非常に細い鋼線を短くカットした細片を紡ぎ込んだものであろう。もちろんこれらの細片は完全な磁石となる。…その他のコードとしては、硬化した鋼線がすぐに思いつくが、それを多数の短い磁石に分割した状態にすることはほとんど可能性がない。…もし意図に則した鋼線をつくりえたとすれば、明らかにもっとシンプルな形体であることを指摘しておく。…』

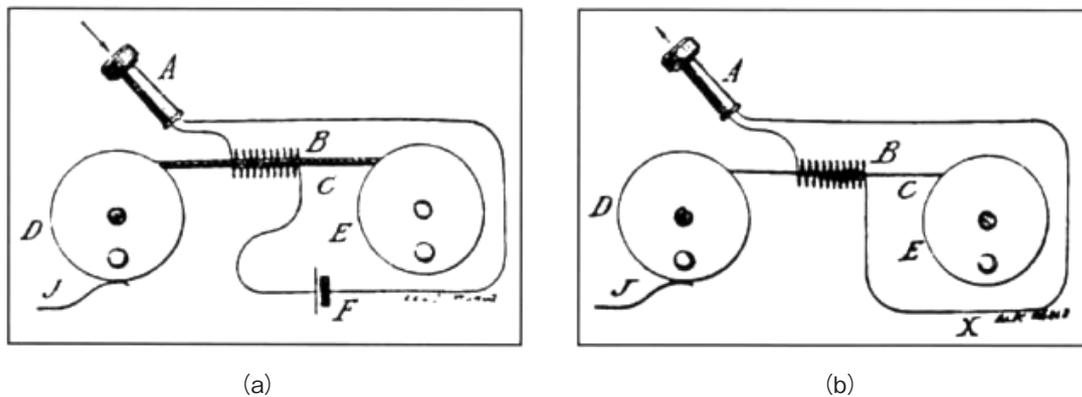


図 3.1 オバリン・スミスによるワイヤレコーダーの構想

「The Electrical World」誌 1888 年 9 月 8 日号のスミスの記事の一部  
 (「オーディオ 50 年史」1986 年、日本オーディオ協会発行、より転載)

## 3.2 ワイヤレコーダーの発明

オバリン・スミスの構想の発表は、磁気録音の技術開発史上まさに画期的なものであり、この文献に刺激された多くの技術者が磁気録音機の開発に取り組むことになった。スミスの発表から10年後の1898年、デンマークの電話技術者であったヴァルデマール・ポールセン (Valdemar Poulsen) が鋼鉄線を記録媒体に用いた、世界初の磁気録音機を発明した。図3.2に示したこの機械はエジソンの蓄音機によく似た構造をしているが、シリンダーの外周には錫箔やろうではなく鋼線 (ワイヤ) が巻き付けられており、この鋼線に接する形で電磁石が装備されている。シリンダーを回転させるとこの電磁石が鋼線をなぞっていき、蓄音機における針の役目を果たして、ワイヤを連続的に磁化することで記録を行う。再生は磁化されたワイヤを同じ電磁石でなぞり、磁化によってコイルに誘起される電流として記録内容を読み出すという構造である。この機械はポールセンによって「テレグラフォン (Telegraphone)」と名付けられたが、電話の技術者であったポールセンは電話の音声の録音用 (いわゆる留守電) としての用途を念頭に置いていたようである。ポールセンはデンマークを初め、米、英、仏など主要国でテレグラフォンの特許を取得し、テレグラフォンの大々的な売り込みに乗り出す。1900年のパリ万博にも出品し好評を得るなど、テレグラフォンの前途は有望に思われたが、製品の完成度は十分ではなく故障が多い、期待されたほどの音質がなかなか得られないなどの課題が顕在化し、ビジネスとしては失速する。円盤型録音機の拡大と性能の向上、レコード産業の隆盛など蓄音機の勢いに押されて、磁気録音方式のワイヤレコーダーは大衆の間ではいつしか忘れられていった。このような環境下でも、ポールセンと助手たちは磁気録音の性能向上に努力し、直流バイアス方式を発明するなど、後につながる成果を残したのである。

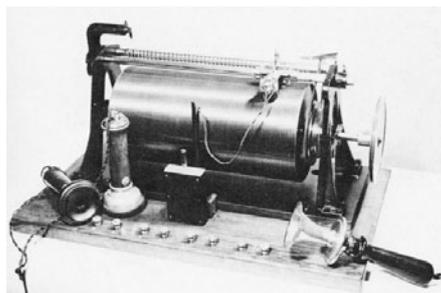


図3.2 ポールセンの「テレグラフォン」<sup>1)</sup>

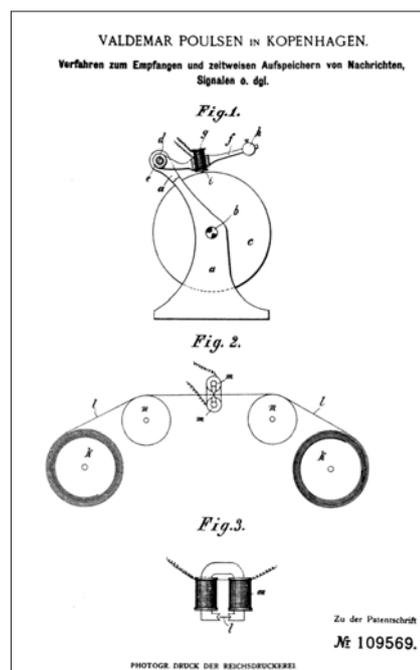


図3.3 ポールセンによるテレグラフォンの特許<sup>2)</sup>

## 3.3 直流バイアスの発明

テレグラフォンのビジネスは順調に離陸することはなかったが、このような中でポールセンと助手のペデルセンはテレグラフォンの改良に努め、1907年には直流バイアス方式の特許を米国で取得する。直流バイアス技術は録音感度向上やひずみの減少など、録音品質の向上に大きな効果を発揮し、その後交流バイアスが発明され実用化されるまでの30年間ほど、ワイヤレコーダーなど磁気録音機で必須の技術として使われた。

磁性体に外部から磁界を加え、徐々に強くしていくと磁性体内部の磁束も増えていくが、ある程度大きくなるとそれ以上増えなくなる。このときの磁束を最大磁束密度 ( $B_m$ ) と呼ぶ。この状態で外部の磁界を0にすると磁束密度は0にはならず、磁束が残る。これは磁性体が磁石になった (磁化した) ことを意味しており、このときの磁束密度を残留磁束密度 ( $B_r$ ) といって、これ以上強い永久磁石にはなれない。この磁化の方向をN極とすれば逆方向に磁界を加えた場合がS極となり、磁界の強さに対して対称的な曲線となる。この様子を図3.4に示す。この曲線を磁化曲線あるいはヒステリシス・カーブと呼ぶ。

全く磁気を帯びていない磁性体を磁化するとき、図の0~a、0~cに沿って磁化されるが、この曲線を初期磁化曲線と呼ぶ。磁気録音機の場合、横軸がヘッ

ドによって磁性体（ワイヤ、後には磁気テープ）に加えられる記録磁界であり、縦軸が記録された磁化の強さを表すわけである。ヘッドが発生する磁界は記録する信号の強さ、すなわちヘッドに流す記録電流に比例するが、初期磁化曲線は直線ではないため、記録する音に比例して磁界を加えても磁化された結果はひずんだ波形となる。このような記録を無バイアス記録と呼ぶが、図 3.5 にその様子を示した。磁化曲線の直線でない部分を使うことが、大きなひずみを生じさせる原因であるから、記録電流にあらかじめ直流電流を与えて、初期磁化曲線の直線に近い部分を使えば、ひずみを減らして良い音質が得られる、というのが直流バイアス記録である。図 3.6 に示した磁化曲線の直線部の a 部を使うと図 3.7 のようにひずみを減らすことができるが、磁化曲線全体を見るとループ外側の b 部の方が直線部が長いので b 部を使う方が都合が良い。まず飽和磁界を与え、磁性体を  $B_r$  の状態にした後、磁束密度を減らす方向にバイアスをかけてこれに記録電流を重ねると、図 3.8 のように b 部を使った直流バイアス記録ができる。ポールセンとペデルセンによって発明された方式はこちらの方式で、長い直線部が利用できるので良好な記録特性が得られた。

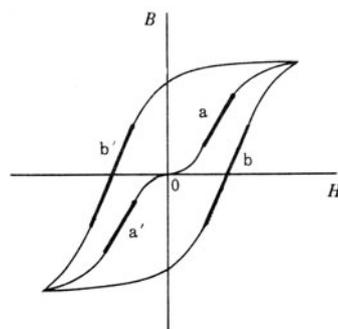


図 3.6 磁化曲線の直線部<sup>5)</sup>

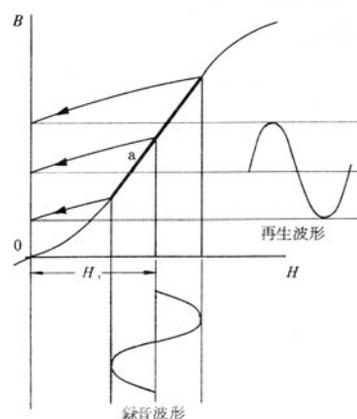


図 3.7 直流バイアス記録<sup>6)</sup>

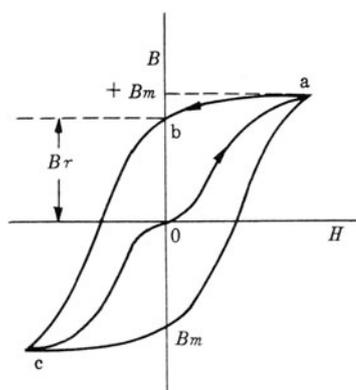


図 3.4 磁化曲線<sup>3)</sup>

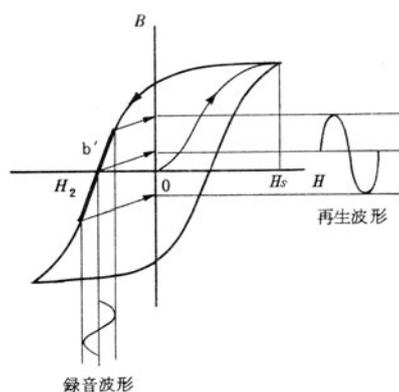


図 3.8 直流バイアス記録 その 2<sup>7)</sup>

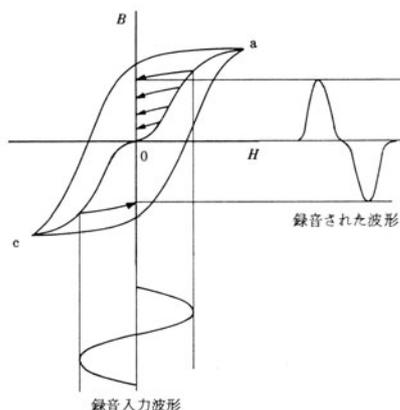


図 3.5 無バイアス記録によるひずみ<sup>4)</sup>

### 3.4 ワイヤレコーダーの進歩

ポールセンはワイヤレコーダーの普及を目指して米国にも販売会社を作るなど、普及への努力を続け、テレグラフそのものの改良も続けたが、使い勝手、性能面など技術的な完成度、価格競争力等々で十分な優位性を出すことができず、大きく展開し始めていた円盤式蓄音機の発達に押されて大衆向けの録音機としては成功しなかった。しかし 1920 年代後半ころに

なって、放送用や軍事通信用などの領域で磁気録音機への関心が高まり、欧米を中心に研究が進んだ。これは円盤式に比べて長時間の連続録音が可能という特長が、このような分野での要求に合致したものと思われる。欧州では媒体を銅線から銅の薄板に変えた銅帯式の大型録音機が放送局で使われるなど、一部のエリアでの実用化も進んだ。図 3.9 に 1920 年ころの改良型テレグラフオンを示す。ワイヤを巻き取るリールはモーターで駆動され、記録済みのワイヤを巻き戻すときは左右のリールを入れ替えるなど、テープレコーダーの原型ともいえる機構になっている。図 3.10 は英国のマルコーニ・スティーレ銅帯式録音機で BBC で放送用に使用された。重さ 1 トンという大型の装置で、銅帯は幅 3 mm、厚さ 80  $\mu$ m、長さ 3,000m、で 30 分の録音ができた。日本にも 1937 年に 1 台輸入され、NHK 東京で外国語放送に使用されたそうである。

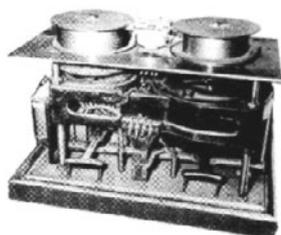


図 3.9 1920 年ころのテレグラフオン<sup>8)</sup>

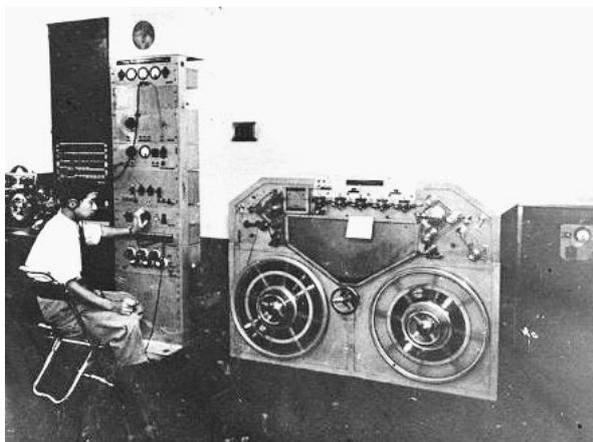


図 3.10 マルコーニ・スティーレ銅帯式録音機 (1937 年)<sup>9)</sup>

## 3.5 テープレコーダーの発明

### 3.5.1 サウンド・ペーパーマシン

銅線録音機 (ワイヤレコーダー) や銅帯録音機は記録媒体が固い金属で、細いワイヤは巻きが乱れると元

に戻るのが非常に困難だったり、切断すると溶接してつながねばならないなど、取り扱いを決して簡単なものではなかった。このような欠点を克服し、より使いやすい磁気録音機を作るために、より適した素材による記録媒体を使ってはどうか、と考えられたのは想像に難くない。柔らかい素材のテープに磁性体の粉末を塗って使うアイデアは、ドイツのナザヴィシュウィリー (A. Nasavischwily) や米国のジョセフ・オニール (Joseph A O'Neill) によって 1920 年代に提案はされていたが、実際の機械として作るころまでは至っていなかった。1928 年、ドイツの技術者フリッツ・フロイメル (Fritz Pfleumer) は、紙テープに酸化鉄を塗布した「磁気録音テープ」と世界初のテープレコーダーを製作、「サウンド・ペーパーマシン」と名づけた。この機械はテープレコーダーとしての基本的な要素は備えており、世界初のテープレコーダーと位置づけることはできるものの、肝心の性能は芳しいものではなく、音質的にも満足できるものではなかった。磁性体を塗布した磁気テープは表面の平滑性に欠け、磁性体の塗布強度もあまり高くなかったので、記録・再生時にヘッドとの接触により磁性粉が盛大にまき散らされる、という状態であった。このためサウンドペーパー・マシンと陰口もたたかれたという。

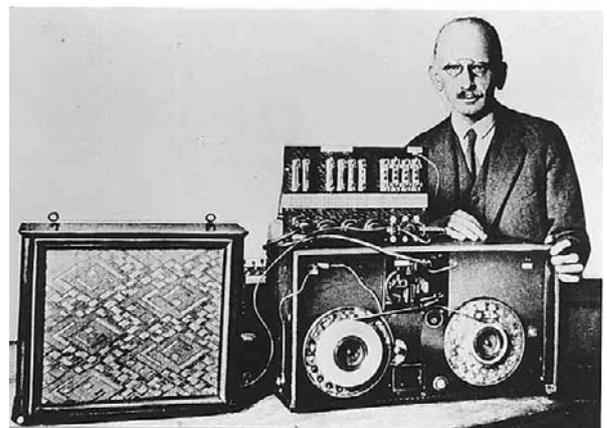


図 3.11 フリッツ・フロイメルと「サウンド・ペーパーマシン」<sup>10)</sup>

### 3.5.2 マグネトフォンの誕生

1930 年に特許を取得したフロイメルは、この世界初といえるテープレコーダーをドイツの大手電気メーカー各社に持ち込み売り込みを図ったが、技術としての潜在力とはともかく、性能そのものがあまり芳しいものではなかったので関心を示すところはなかった。しかし 1932 年に AEG 社 (Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft) の会長が興味を示し、フロイメルの特

許を買い取ることになった。AEGでは早速磁気録音の研究所を立ち上げ、このサウンド・ペーパーマシンと磁気テープの改良に乗り出した。AEG社は電気メーカーであり、磁気テープの改良には化学の専門家が必要と判断し、I. G. ファーベン社に助力を求めた。その結果、磁気テープに関してはI. G. ファーベングループのルドヴィックスハーヘン工場（後のBASF）が協力することになった。

AEGはI. G. ファーベンによるテープの開発と並行して、精力的に磁気録音機の研究・開発を続け、1934年に近代的なテープレコーダーのさきがけともいえる「マグネトフォン（Magnetofon）」を完成させた（図3.12）。AEGはこの年のラジオ展において発表する予定だったが、展示会の直前になって駆動系や増幅器など複数の不具合が見つかり出展を断念した。AEGは駆動機構などにさらなる改善を加え、機構部、アンプ部、スピーカー部をそれぞれ筐体に収め、システムとしてまとめた「マグネトフォン K1型」を1935年のベルリンのドイツ・ラジオ展に出品した。世界で初めて実用的なテープレコーダーと磁気テープが一般の人々の前に姿を現し、デモは大成功であった。マグネトフォンは良質の磁気テープを専門メーカーによって同時に開発するという方針に加え、安定したテープ駆動系の開発、テープに無理な力をかけて痛めることのないリングヘッドの開発など、近代的なテープレコーダーの要件をほとんど備えていたといえる機械であった。



図 3.12 最初のマグネトフォン（1934年ころ）<sup>11)</sup>

### 3.5.3 マグネトフォンの活躍

AEGはK1型マグネトフォンに続き、コンソール型や可搬型など多様な機種を開発し、ラジオ放送のモニター用、軍や警察での尋問記録用などで使われるようになる。円盤式録音機が主流であった放送局でも、第二次世界大戦が始まる1939年ころにはドイツ国内

のほとんどの放送局にマグネトフォンが設置されるまでになった。1942年には交流バイアスの採用で、円盤式録音機に対して劣っていた音質が大きく改善され、当時としては非常に高音質な録音放送が欧州全域に流された。連合国側にとってその音質の高さは生放送としか考えられず、ひっきりなしに続く放送をどうやって流しているかは謎であった（図3.13参照）。

こうしてマグネトフォンはドイツ国内において新規の高音質録音機として活躍するが、この時期、放送、音声記録など軍用途と密接な関係がある分野で有用な機械ということもあって、国際的な技術的交流は完全に途絶えていた。当時の欧米各国では録音機の主流は円盤式録音機であり、鋼線・鋼带式磁気録音機もあるにはあったが、真に実用的な録音機と呼べる機械ではなく、録音機という範疇において、マグネトフォンの技術は明らかに優位性を持っていたといえる。1945年に連合国の勝利で第二次世界大戦は終結し、マグネトフォンの技術蓄積は連合国によって調査・分析され、戦後の米国による高性能テープレコーダーの開発につながっていった。



図 3.13 マグネトフォン（1943年）<sup>12)</sup>

## 3.6 交流バイアスの発見

### 3.6.1 米国での研究

1920年ころ米国の海軍研究所では、磁気録音機を使って電信の送信時間を短縮する研究が続けられていた。通常録音したものを高速で再生して送信し、受信側は高速で記録することで通信時間の短縮を図ったもののようだが、高速記録の困難さから実用には至らなかったものの、その研究過程で偶然に交流バイアス

が発見された。1921年同研究所のウェンデル・カー  
ルソン (Wendell Carlson) とグレン・カーペンター  
(Glenn Carpenter) が磁気記録の実験を行っていた  
とき、たまたま記録アンプが発振を起こし、これが高  
周波バイアスとして作用したことから、交流バイアス  
の効果を見つけることになった。この発明は1927年  
に米国で特許として成立しており、磁気録音の性能改  
善に顕著な効果が期待できるはずであったが、雑音低  
減に主眼が置かれ録音音質の改善に利用されることが  
なかったため忘れられてしまった。

1930年代の後半ころ、ベル研究所では鋼帯、鋼線  
録音機の性能改善を目指して、交流バイアスの研究が  
続けられていた。同研究所は1937年にエンドレス・  
ループ式の「ミロフォン」を開発したが、これを改造  
してステレオ化した機械を1939年ニューヨークで  
の世界博覧会でデモしたときに、この交流バイアス  
法を使用した。この研究成果はベル研究所のデー  
ン・ウールドリッジ (Dean E. Wooldridge) によ  
って1939年に特許出願され、1941年に米国特許に登  
録されている。この特許はその後、イリノイ工科大  
学・アーマー研究所のマービン・カムラス (Marvin  
Camras) に譲渡され、大きく改良された後有名なカ  
ムラス特許として磁気録音の世界で大きな力を発揮す  
る。1941年にはアーマー研究所により海軍向けのワ  
イヤレコーダーに採用されるなど動きは速かったが、  
録音機全体としては鋼線式という性能・機能の限界は  
あった。

### 3.6.2 ドイツでの研究

マグネトフォンという形で、近代的なテープレコ  
ダーをいち早く作り上げたドイツに限らず、鋼線式、  
鋼帯式も含めた全ての磁気録音機は、1930年ころに  
はポールセンの発明による直流バイアス法がもっぱら  
使われていた。

1938年、K4 (S) 型マグネトフォンを放送用とし  
て採用を決定したドイツの放送局では、研究所でマグ  
ネトフォンの質を改善すべく、所長フォン・ブラウン  
ミール (Von Braunmuhl) はヴァルター・ヴェーバー  
(Walter Weber) にその改善を担当させた。翌1939  
年、ヴェーバーは回路の実験中に、突然、高音質の録  
音・再生ができることを発見した。周波数特性、雑音、  
ひずみなど音質にかかわる諸特性が著しく改善され  
ていたのである。その原因は録音回路の異状発振にあ  
ったことが分かり、結局、偶然に交流バイアス法で  
記録していたのであるが、彼はその解明に時を費やし、  
翌1940年、交流バイアス法を確立し、同年7月

ドイツ特許を申請した。

交流バイアス法の採用によりマグネトフォンの性能  
は飛躍的な向上を見ることができ、直流バイアスに比  
べて非常に高い録音・再生音質を得ることができた。  
AEGは公開実験を行うなど、交流バイアス法の導入  
の準備を進め、1942年に放送用マグネトフォンに交  
流バイアス法が採用されることになった。こうして当  
時としては極めて高音質の録音放送が、終戦の直前ま  
でヨーロッパ全土に送られることになった。

### 3.6.3 日本における研究

日本で磁気録音の研究が始まるのは昭和の初期ころ  
からである。当時、潜水艦の音響探査などに役立つと  
考えられていた音声遅延装置を研究していた東北大学  
工学部の永井健三博士が、エンドレスの鋼線に磁気録  
音する案を遅延装置に応用することを考え付き、磁気  
記録の研究が始まった。この研究はワイヤレコーダー  
の研究へと発展し、磁気録音を利用した秘話通信の案  
など、応用研究も進んだ。永井は鋼線の材質について  
同大金属材料研究所の協力を得て磁気録音に適した材  
料を研究し、金属材料研究所は仙台金 (鉄 40 : ニッ  
ケル 40 : 銅 20 の合金) と呼ばれる録音特性に優れた  
磁性材料を開発した。また1936年には「録音放送」  
の実験をNHK仙台放送局と行い、その反響を受けて  
安立電気の協力を得て、金華山沖での捕鯨の様子を実  
況録音するという実験にも成功している。このとき使  
われたのは鋼線式の試作録音機であったが、円盤式録  
音機では不可能な揺れる船上での録音に成功した。か  
なり長時間の録音であり、十数分の放送用に短く編集  
しなければならず、細いワイヤの切断、接続作業はか  
なり困難であったものの、生放送が当然の時代に録音  
放送を実現したわけである。しかしその音質は背景雑  
音が大きく、録音放送を今後の放送に通常的に使うの  
は不適切と判断された。この結果を受け、永井の研究  
室では雑音低減に向けての研究に本格的に取り組むこ  
とになった。

同じころ、磁気録音の実用化を目指して、永井の研  
究室から安立電気に入社していた五十嵐悌二も、同じ  
ような研究をやっていた。五十嵐は実験中、偶然に交  
流消去を発見し背景雑音が大幅に減ることを確認す  
る。録音音質は良くならなかったものの、これ自体は  
直流消去という従来過程を必要とせず、雑音低減効  
果もあったので特許として成立した。これが呼び水と  
なって、重畳する交流の周波数や強度をさまざまに選  
んで最適化を図る、という実験を繰り返し、交流バイ  
アス法を完成させることになった。永井も五十嵐より

表 3.1 交流バイアス特許<sup>13)</sup>

出願年	月	日	特許年	月	日	国	特許番号	発明/論文の名称	発明者	受理	備考
1902	06	12	1907	12	10	アメリカ	879,083	Telephone	Valdemar Paulsen Peder O. Pedersen	111,305	直流バイアス特許
1921	03	26	1927	08	30	アメリカ	1,640,861	Radio Telegraphone System	Wendel C. Carlson Ollen W. Carpenter	456,020	交流バイアス特許
1936	06	05				日本	論文 電気通信学会誌 No.180	磁気録音方式における 雑音に関する研究	永井健三、佐々木四郎 遠藤十之助		交流消去
1936	10	12	1937	02	03	日本	119,071	抹消装置ヲ要セサル 磁気録音装置	五十嵐悌二、宇都木三郎 特許権者：安立電気株		交流消去と交流バイ アスを兼ねた特許
1938	02	05				日本	論文 電気通信学会誌 No.7	磁気録音における交流吹消法 に関する実験的考察	永井健三、佐々木四郎 遠藤十之助		交流消去
1938	03	14	1940	06	21	日本	136,997	交流ヲ「バイアス」トセル 磁気録音方式	五十嵐悌二、石川 誠 永井健三 特許権者：安立電気株		交流バイアス特許
1939	07	29	1941	03	18	アメリカ	2,235,132	Magnetic Telegraphone	Dean E. Wooldridge (assignor : Bell Telephone Lab.)	287,192	交流バイアス特許
1940	07	28	1943	11	04	ドイツ	743,411	Verfahren zur magnetischen Schaaufzeichnung	Hans J. von Braunmühl Walter Weber		交流バイアス特許
1941	10	02	1943			アメリカ		Method of Magnetic Sound Recording		413,380	同特許を米国に申請
1941	12	22	1944	06	13	アメリカ	2,351,004	Method and Means of Magnetic recording	Marvin Camras (assignor : Armour Research Foundation)	423,928	交流バイアス特許

もやや早く、ほぼ同様な成果を得ていたが、安立電気はもともと永井の技術指導を受けていたという関係もあって、安立電気と永井の連名で交流バイアス特許が出願され、1940年に成立した。表 3.1 に交流バイアスに関する各国での特許出願・登録状況を一覧にして示した。

### 3.6.4 交流バイアス法

交流バイアス法とは、記録信号により高い周波数の信号（バイアス信号）を重畳して記録する方法で、直流バイアス法よりも大きな磁気録音特性の改善が実現でき、近代的テープレコーダーでは性能向上に欠かせない手法として、すべてのアナログテープレコーダーで使われるようになった技術である。重畳するバイアス信号は周波数が高いほど性能向上は望めるが、ヘッドの飽和を考慮して一般的に 30kHz~200kHz くらいの周波数が選ばれる。

交流バイアス記録を行う場合ヘッドに流れる記録電流は、図 3.14 に示したように記録したい入力信号 (a) に、交流バイアス信号 (b) を重畳した (c) のような波形になる。この信号がヘッドに加えられ、テープがヘッドギャップ前を通過して記録が行われるわけだが、入力信号（ここでは音声電流）に高周波のバイアス電流が重畳されると、図 3.15 (B) のような記録電

流がヘッドに流れ交番磁界が発生する。この前を通過するテープ上のある一点に着目すると、図 3.16 に示したように磁界が変化して、最終的にある磁化（図 3.16 の例では S 極）が記録される。この磁化の強さは入力信号に比例するので、ひずみの少ない記録が可能になる。この様子を B-H 曲線上で表したのが図 3.17 であり、ヘッドギャップからテープが受ける磁界の変化を描いている。交流バイアス記録ではテープを一度飽和状態まで磁化するのので、初期磁化曲線とは無関係に記録ができる。また、入力信号が 0 のときはテープの磁化が 0 になり、交流消去されたことになるわけである。

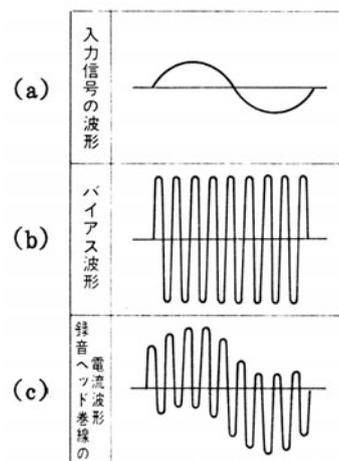


図 3.14 交流バイアス記録波形<sup>14)</sup>

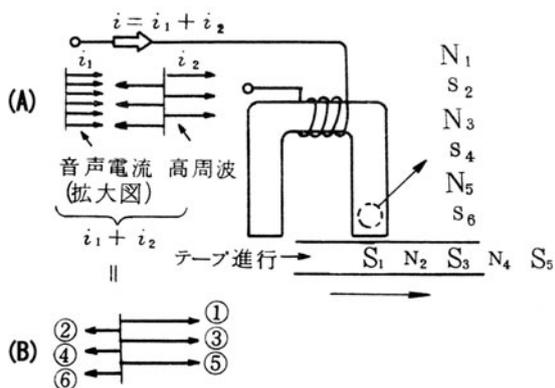


図 3.15 テープの磁化過程<sup>15)</sup>

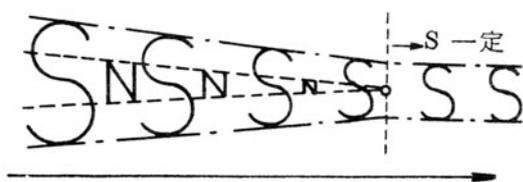


図 3.16 テープ上のある点の残留磁化<sup>16)</sup>

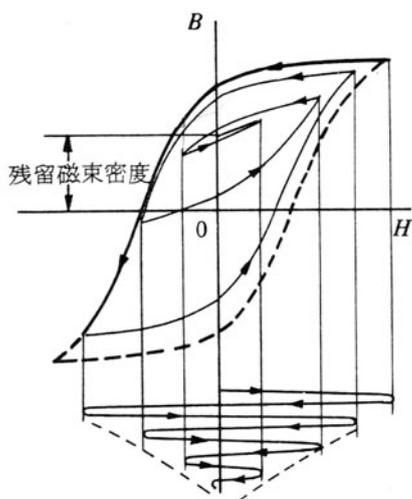


図 3.17 交流バイアスの暫減磁界<sup>17)</sup>

3.6.1～3.6.3 項で各国での研究の経緯を述べたが、いずれの場合も実験中に記録増幅器の予期しない発振が好結果をもたらす、という偶然が共通しているのは興味深い。また記録媒体の残留磁化を消す消去法の検討が、結果的に記録特性の改善に結び付いた、ということもあった。交流バイアス法は、直流バイアス法に比

べると直感的にとらえにくい現象と考えられるが、偶然がうまく作用して実用化され、テープレコーダーの記録品質の向上に非常に大きく貢献する重要技術となったのである。

#### 引用

- 1) 森芳久 他：「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011年3月、p.73
- 2) 森芳久 他：「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011年3月、p.73
- 3) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.34
- 4) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.34
- 5) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.35
- 6) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.36
- 7) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.36
- 8) 阿部美春：「テープ録音機物語 その1」 JAS Journal 2004, Vol.44, No.7
- 9) 阿部美春：「テープ録音機物語 その1」 JAS Journal 2004, Vol.44, No.7
- 10) 阿部美春：「テープ録音機物語 その2」 JAS Journal 2004, Vol.44, No.8 & 9
- 11) 阿部美春：「テープ録音機物語 その2」 JAS Journal 2004, Vol.44, No.8 & 9
- 12) 阿部美春：「テープ録音機物語 その1」 JAS Journal 2004, Vol.44, No.7
- 13) 阿部美春：「テープ録音機物語 その33」 JAS Journal 2008, Vol.48, No.5 & 6
- 14) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.37
- 15) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.37
- 16) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.37
- 17) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.38

# 4 | 戦後のテープレコーダー

## 4.1 米国

### 4.1.1 AMPEX の誕生

ドイツ降伏の2カ月後（1945年7月）ドイツの通信技術等を調査していた米国陸軍通信隊のジョン・マリン（John Mullin）が、フランクフルト郊外のラジオ放送局でマグネトフォンに接し、その性能に強く魅了された。その年の終わりまでに数十本のテープと数台のマグネトフォンを入手し、早速それらを米国に送り詳細な分析を開始した。マリンは自宅のあるサンフランシスコで友人の協力を得て、直流バイアスを交流バイアスに改造（入手したマグネトフォンは旧型のK4型で直流バイアスが採用されていた）、さらに電子回路の新規設計など接収したマグネトフォンの復元・改良を実行し、音楽のテスト録音を始めた（図4.1）。1946年5月16日にはサンフランシスコでのIEEE分科会でデモを行い大きな反響を得た。



図 4.1 マリンが改造したマグネトフォン<sup>1)</sup>

このデモに関心を示したアンペックス（AMPEX）社は設立間もない零細企業であったが、テープ録音機の将来性を信じ、独自モデルの開発に着手する。全く新しい製品の開発プロジェクトであり方向性や目標が定めにくい状況ではあったが、マリンの助言に従ってまず再生ヘッドの開発を進めることにした。駆動系の開発ができるまでは、手持ちのマグネトフォンを提供するなど、マリンも積極的に協力し、開発された再生ヘッドはマグネトフォンの性能を凌ぐ結果を得るまでになった。引き続き録音、消去ヘッドの開発も順調に進み、ついに1948年AMPEX200型を完成させた（図4.2）。当時、人気のラジオ番組「ビング・ク

ロスビー・ショー」では、全国放送化が進むに従って録音放送が主になっていたため、記録音質の維持が大きな課題となっていた。録音放送の高音質化にマグネトフォンの使用を検討していたビング・クロスビー・ショーのスタッフは、AMPEX200型のデモに強い関心を示し、放送局への導入に協力する旨を伝えてきた。アンペックスは設立されたばかりで、放送局への販売チャンネルなどは持っていなかったが、ビング・クロスビー・エンタープライズ社が販売を行う契約が成立し、早速ABC放送に納入され米国のラジオ放送で実際の運用が開始される。放送局での運用で200型が認められたアンペックスは、1949年にはさらなる改良を施した300型を投入し、業務用テープレコーダーの分野で確固たる地位を確立する。音質の良さや取り扱いや編集の容易さは、従来の円盤型録音機に比べて画期的ともいえるもので、レコードスタジオ、映画音響録音などへとテープレコーダーの活躍の場は一気に広がっていった。



図 4.2 AMPEX200型<sup>2)</sup>

テープに関してはアンペックスによる200型の開発時に、従来の円盤式録音機の録音盤メーカー「オーディオ・デバイス」社と「3M」社が媒体開発への情報提供と協力をアンペックスに要請した。マグネトフォンによって円盤式録音機に代わる磁気録音機、すなわちテープレコーダーの大きな可能性が見えてきたので、新しい製品として磁気テープへの関心は強くなったものと思われる。3M社は録音用機材には門外漢ではあったが、化学工業において優れた開発力を

持っており、有名な「スコッチ録音テープ」を開発して磁気テープ事業に本格参入する。その優れた技術力は、当時としては非常に安定した性能の磁気テープ生産を実現し、戦後しばらくの間、全世界のテープレコーダーの基準ともいえる評価を得て標準テープの役割を果たした、有名な「スコッチ 111 番」テープを誕生させた（図 4.3）。



図 4.3 スコッチ 111 番 磁気テープ<sup>3)</sup>

#### 4.1.2 アンペックスに対抗したマグネコーダー

アンペックスがテープレコーダーの開発に取り組んでいたころ、米国内ではいくつかの企業がテープレコーダーという新しい録音機の開発を始めていた。マリンによるマグネトフォンのデモに刺激されて始めた会社もあるが、マグネトフォンとは全く別に開発を進めていったところもあった。1946年シカゴで設立されたマグネコード社は、最初の製品としてワイヤレコーダーSD-1型を導入し、それに続く新製品の開発も進めていたが、販売サイドからの強い提言に従い、鋼線式の開発を中止してテープレコーダーの開発に方針転換した。1948年5月には最初の試作機がNABショーに出品され、大きな評判を獲得する。この機械はPT-6型（図4.4）と呼ばれ、アンペックス200型の価格（\$3,825）に対し大幅に安く（\$499.5）、また大型コンソールタイプの200型に比べて、小型の筐体はユーザーの関心を強くひきつけた。アンペックス200型は録音モニターができる3ヘッド構成で、業務用として十分な機能を備えていたが、PT-6型は消去および録音・再生兼用の2ヘッド構成であり、業務用としてはいささか不安もあった。録音機という基本的機能は果たせるので、その後の家庭用テープレコーダーでは価格重視ということもあって2ヘッドが標準的な構成になるが、本格業務用としての要求に応え、マグネコーダーは1950年には3ヘッド化された。

1949年、ハワイの日系放送局によって、ラジオの人気番組であった「のど自慢素人音楽会」を録音する

ため、スコッチ 111 番テープと一緒にマグネコーダーがNHKに持ち込まれた。また、同年8月、ロサンゼルスで行われた全米水上選手権の中継録音に使われたマグネコーダーPT-6型数台がNHKの技術陣によって日本に持ち帰られ、本格的にラジオ放送でのテープ録音機の運用が始まった。さらに1951年からは戦後始まった民間放送局でもこのPT-6型が使われるようになった。このように、マグネコーダーは日本に最初に持ち込まれ、実用に供されたテープレコーダーであり、国産テープレコーダーの開発に大きな刺激を与えた機械でもあった。



図 4.4 マグネコーダーPT-6型（1948年）<sup>4)</sup>

#### 4.1.3 規格の統一

1947～1950年ころ、米国では放送業務用から始まって、家庭用も視野に入れたテープレコーダーを製造・販売する企業がいくつも出てきた。戦前から円盤録音機を作っていた業務用機器の老舗だけでなく、新たな市場に魅力を感じて新規に参入してくる場所もあった。複数のメーカーが独自の規格でテープレコーダーを作っているのは、録音されたテープの互換性が取れなくなるので使用領域が限られ、せっかくの新技术の発展が阻害される。テープレコーダーが本格的に放送用途に使われるようになるにつれ、この問題が深刻化することは明らかであった。米国には戦前からラジオ放送が盛んでNAB（National Association of Broadcasters）\*という民間放送連盟が存在した。NABは録音機の放送用としての運用を考慮して、すでに1941年、円盤式録音機を対象とした録音再生規格委員会を発足しており、この延長として1949年には磁気録音を含む必要な用語・寸法・特性等が制定された。NAB規格はその後の民生用を含むテープレコーダーの規格として世界的にデファクト・スタンダードとして使用され各国規格に反映されるようになる。これによってオープンリール時代の最低限の互換性が確保されることになった。

\* NABはNational Association of Broadcastersの略で、アメリカの民間放送連盟である。設立は1923年

であるからほぼ90年になる。1年に1回米国でコンベンションが開かれ、同時に世界最大といわれる放送関係機器の展示会も開かれる（最近はラスベガスが多い）。NABの組織の中に録音再生規格委員会があり、第二次大戦後、いち早く放送用のテープ録音機、円盤録音機などの規格が定められ、RMA（後のRTMA、現EIA）と並びテープ録音機関係の規格としては日本でも古くから知られている。

## 4.2 欧州

### 4.2.1 マグネトフォンの復活

第二次世界大戦の敗戦により、マグネトフォンを生み出し先進技術を誇ったドイツの磁気録音機は戦後大きく出遅れることになった。磁気録音テープという高度な化学工業製品も、戦前のドイツで大手化学品メーカーにて製品化され、放送局での録音放送に多用されるまでに成長していたが、磁気録音テープの製造がドイツで再開されたのはアグファが1949年、BASFが1950年になってからである。

マグネトフォンは終戦から9年たった1954年によりやく AEG の系列化にあったテレフンケンから、装いを新たにしたセミプロ用のテープ録音機 M5 型（図 4.5）が発売され、1958年にはホーム用のマグネトフォンも市販されるようになった。AEG 自身も1952年にホーム用にレコードプレーヤーと兼用のテープ録音機 KL-15D を発売している。こうしてマグネトフォンは戦後数年を経て復活することになったが、テープレコーダーに関する技術はかなりの部分が公知のものになり、鋼線録音機などを作っていた欧州の録音機メーカーが新たにテープレコーダーを開発、市場に導入するようになっていった。1948年には英国のEMIがAEGのマグネトフォンを手本にプロ用のBTR/1型を作り、翌1949年にはスイスのスチューダー（Studer）社がセミプロ級のダイナボックス（Dynavox）を作るなど、業務用機器として欧州でのテープレコーダーは進化していった。

### 4.2.2 スチューダーの活躍

スチューダー社は1948年ウィリー・スチューダー（Willi Studer）によってスイス、チューリッヒに設立された小さな電子機器メーカーであった。設立後しばらくして米国からテープレコーダーを輸入することになり、これがテープレコーダーの自主開発に向かわせるきっかけとなった。まずは米国からの輸入品を欧州仕様に変更することから始め、1949年にスチューダー社の第1号テープレコーダーとなるダイナボック

スを完成した。会社の規模は小さく、満足な人員や測定器もなく、性能的にはあまり芳しいものではなかったが、テープレコーダー自体が珍しい新製品であり、ビジネスとしてはそれなりの成果を得たようである。この経験を生かしてさらなる改良設計を行い、1951年にはブランド名をルボックス（Revox）に変えた T26 型を発売する。ダイナボックスもこの T26 型も、一般用（非常に高価格ではあったが）のテープレコーダーとして開発、販売されたものであるが、スチューダー社は T26 をベースに業務用の録音機として 27 型を開発した。この機械は音楽イベントで試用されて好評を博し、1952年には Studer 27 型として本格的な生産に入った（図 4.6）。Studer 27 型の成功によってスチューダー社は業務用録音機メーカーとしての評判を確立、米国のアンパックスと並んで戦後の業務用高級録音機市場をけん引していくことになる。Revox ブランドは一般用高級テープレコーダーとして優れた製品を次々と生み出し、1955年の A36 型から始まる 36 シリーズは、ステレオ化も達成して1967年まで続いた。1967年ころ当時最も高性能な一般用テープレコーダーと評された A77 型（図 4.7）は、その高音質が音楽愛好家やオーディオマニアから高い評価を受け、非常に高価な機械であったにもかかわらず、世界中で数十万台を売り上げるヒットモデルとなった。



図 4.5 マグネトフォン M5 型（1954 年）<sup>5)</sup>



図 4.6 Studer 27 型 (1952 年)<sup>6)</sup>



図 4.7 Revox A77 型<sup>7)</sup>

#### 4.2.3 可搬型テープレコーダー「ナグラ」の登場

テープレコーダーは磁気録音を行う機械であり、蓄音機に比べて電気系の比重が高いように思われがちだが、デジタル録音機以前のテープレコーダーで性能を決める大きな要素は、テープ駆動系と正確で安定した走行を担う機械系であった。高い工作精度や組み立て制度が要求される精密機械製品であり、時計工業が発達していた中部欧州地域にはその下地があったと考えられる。スチューダー社はスイスで設立されたが、同じスイスのローザンヌで、戦後の欧州を代表するもう一つの非常にユニークな録音機、ナグラが誕生する。ステファン・クデルスキー (Stefan Kudelski) はポーランドのワルシャワに生まれたが、第二次世界大戦の影響で故郷を離れ、ハンガリー、フランスを経てスイスに落ち着いた。1951年、ローザンヌで高音質を目指した、小型・軽量の可搬型テープレコーダーを作り、この機械にポーランド語で記録するという意味

の NAGRA という名を付けた。最初の Nagra I 型は 1952 年に地元のラジオ局が購入し、さらに他国のラジオ局からの発注もあったが、Nagra I 型は試作機のレベルを超えておらず不具合も多かったので、大幅に設計を見直した II 型 (図 4.8) を完成させ、1953 年末にはこの II 型の生産が始まった。

ナグラは電池駆動できるポータブルタイプにもかかわらず、機械加工技術を駆使した非常に精密なテープ走行系を備えており、テープレコーダーの活躍範囲を広げるのに十分な性能を備えていた。1959 年に Nagra III 型が登場するが、この機械は映画撮影用シネカメラとの同期など、システムの運用ができる機能を備えるようになり、世界中の映画スタジオ、放送局で多用される業務用ポータブルの名機としてテープレコーダー界に重要な地位を占め続けた。業務用機器としてのメンテナンス性が考慮された設計、精密な加工が施された美しい主要機械部品、独特で切れ味のある操作感など、精密機械としての魅力にあふれ、多くのテープレコーダー設計者に目標とされるような存在でもあった。映画撮影との同期機能のために多くの周辺機器がシステムとしてそろえられ、映画撮影現場での録音用のメイン機材として長らく君臨したが、デジタル録音機器とデジタル音声処理がアナログ機器を急速に置き換えていくにつれ、この分野でのナグラも役目を終えていった。

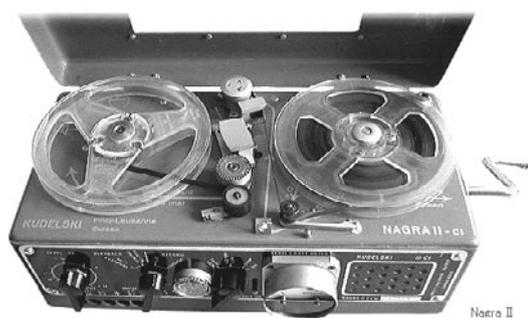


図 4.8 Nagra II 型 (1953 年)<sup>8)</sup>

## 4.3 日本における開発

### 4.3.1 業務用テープレコーダーの国産化

戦前、放送への応用を目指した磁気録音機の国産化については、1930 年代終わりごろから安立電気や日本電気で銅線式録音機の開発、製造が進められたが、音質面、操作面などで未熟なところが多く、放送用として十分使用に耐えるものではできなかった。戦争中も

開発は続けられていたようで、戦後の1948年には日本電気（NEC）が銅線式録音機を発表したが、価格も高く普及には至らなかった（図4.9）。



図4.9 NEC MR-1型 銅線式録音機（1948年）<sup>9)</sup>

したい、というスタンスの違いがあったように見受けられる。

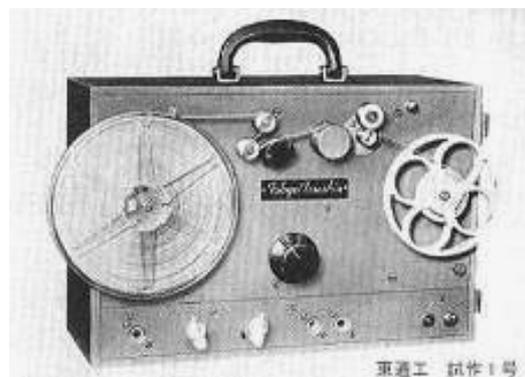


図4.10 東通工 試作1号機<sup>10)</sup>

4.1.2で述べたが、1949年に米国製のマグネコーダーによって、テープレコーダーが日本の放送業務で実際に使われることとなり、使われたPT-6型がNHKによって日本に持ち込まれた。このモデルを参考として、NHKの協力を得ながらテープレコーダーの国産化に着手したのが東京通信工業（東通工、後のソニー）と日本電気音響（電音、後のDENON）であり、いよいよ日本製テープレコーダーの開発が始まる。電音は戦前、坪田耕一が国産録音機の開発を目指して興した電気音響研究所がそのルーツであり、円盤型録音機をNHKに収めるなど、戦前から戦後にかけて放送用録音機器の国産メーカーとしての実績を持っていた。一方、東京通信工業は1946年に井深大が興した新興企業であり、測定器などいくつかの電気技術応用製品の開発・販売を進めながら、画期的な新製品への模索を強めていた。親交の程度は不明だが坪田、井深両氏は早稲田大学理工学部の同期である。



図4.11 電音 試作1号機<sup>11)</sup>

両社は短期間で試作機（図4.10、図4.11）を作り、早速NHKで評価が行われた。評価の結果を反映する形で正式な要求がまとまり、試作機はあらためてNHK仕様として再設計され、NHKにおける最初の業務用国産テープレコーダーPT-11型（図4.12）、PT-12型（図4.13）として1951年に導入され、各地の放送局で使われることになった。テープトランスポート部とアンプ部は別筐体となっており、「携帯型」として扱われたようである。試作機の写真からも推測できるが、円盤録音機という機器を通して放送用機器分野で経験が豊富だった電音は、マグネコーダーPT-6型を忠実に再現する手法で、業務用途としての信頼性と性能確保を重視する方向であったのに対し、東通工は基本原理は踏襲するものの何とか独自技術の方向性を試



図4.12 PT-11型 東通工製<sup>12)</sup>

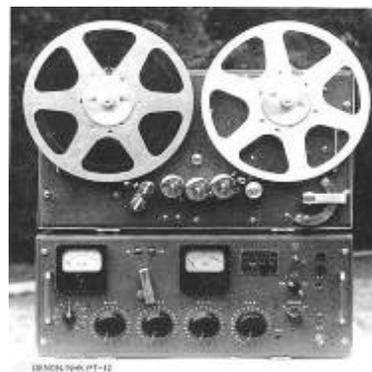


図4.13 PT-12型 電音製<sup>13)</sup>

#### 4.3.2 東通工による国産1号機の誕生

東京通信工業では早くから磁気録音機への関心が高く、鋼線式録音機なども検討していたが、NHKを通してテープレコーダーの実物に接し、有望な新規商品としての可能性を確信して開発に多くの力を注ぐことになる。参考資料が非常に乏しい中で、短期間で設計と試作を繰り返すなど、技術陣主導の新興企業としての機動性を発揮した。同時に磁気録音の原理に関する考察や技術検討も行われていたようで、必須と考えた「高周波バイアス特許」を安立電気から取得するなど、独自の技術開発による製品の優位性を保つ準備も抜かりなく進めていた。磁気録音として最初に取り組んだ鋼線式を捨て、磁気録音機の開発をテープレコーダーに絞った東通工は、苦勞しながらも独自の開発を推進していった。最初の試作は前項のNHK向け試作機であったが、業務用途に向けた製品開発が技術蓄積に大きな役割を果たしたことは間違いない。戦後間もないころで部品や材料は乏しく、技術の蓄積や情報もほとんどないといえる状況で、全く新規の製品開発は大変な苦勞を伴ったことと思うが、ついに1950年に国産初のテープレコーダー「G型」(図4.16)が東通工から発売される。価格¥160,000という高額商品であった。同時にテープも開発・発売されたが、まだまだ紙ベースの初歩的なものであり、平滑性など録音再生性能に直接影響する物理特性は未熟なものであった(図4.17)。

東通工でテープレコーダーを作るに当たっての大きな障害は、適切な部品がないということであった。特に駆動用のモーターは定速で回ることが必須であり、かつ(音響装置としては当然であるが)静粛で、ある程度トルクの出せるものとなると、扇風機など一般電気製品のものでは要求を満たすのは難しく、電音が円盤録音機用に開発していたヒステリシス・シンクロナスマーターを使わせてもらうことになった。また動力伝達部のアイドラなどに使われるゴム材料も良いものがなく非常に苦勞する。この後、東通工ではゴムを使ったベルトやアイドラ類の特性改善を目指してさまざまなノウハウを蓄積し、その後のソニー製テープレコーダーの性能向上に結び付けて、商品の優位性確保に大いに役立てていった。

もう一つの大きな課題は磁気テープの開発であった。参考になる資料等は皆無で、磁性を持つ粉をベース材に塗れば録音用のテープになるということは理解できるものの、ベース材や粉の材料ともに、全く手探りの開発であった。とにかく磁性を示せばよいというので、棒状のOPマグネットを乳鉢ですって粉にし、

適当な紙に飯粒を練って作った糊を使って塗ってみた。この試作テープを試したが、ノイズばかりで音にはならない。いろいろと実験した結果、すりつぶした磁石の粉では磁性が強すぎ、音を記録するにはもっと弱い磁石を使うべきとの結論になった。このOPマグネットの粉を磁性体として使うのは、後のメタルテープと同じことであるが、当時の技術レベルでは高い抗磁力の磁性体を磁化できるヘッドができなかったということであろうか。東通工の開発陣はいろいろと文献をあさり、シュウ酸第二鉄という物質を焼いて酸化させると酸化第二鉄になる、ということを見つけた。物不足のときはあったがシュウ酸第二鉄の試薬を何とか手に入れ、早速フライパンで煎ってみた。黄色いシュウ酸第二鉄が徐々に茶色から黒になっていくが、色合いを見ながら適当なところで加熱を止めるとうまく酸化第二鉄の粉が得られた。できた粉を塗る方法も、スプレーガンから始めてみたが、無駄になる量が多く仕上がりも悪かったので、試行錯誤を繰り返し、はけで塗るという方法で何とか試作品を作り上げた。78回転レコードのターンテーブルを二つ並べた原始的な実験装置で録音実験を繰り返し、磁性体の改良を続ける一方、ベース材料の選択もさまざまな検討を行ったが、当時の日本では磁気テープに適するような紙やプラスチックは存在しなかった。紙の専門家に頼むしかないということになり、本州製紙に協力を求めたところ、新しい製品の開発に大いに興味を示してもらい、紙のテープ用ベース材の確保にめどを付けることができた(図4.14、図4.15)。こうして磁気テープと本体の開発が進み、1950年に日本初のテープレコーダー「G型」の発売にこぎ着けたのであった。



図4.14 磁気テープ試作用道具類(レプリカ)



図 4.15 試作テープ (1949 年)



図 4.16 国産初のテープレコーダー  
東通工 G 型テープレコーダー (1950 年)<sup>14)</sup>



図 4.17 初期の東通工製「ソニ・テープ」(1950 年)<sup>15)</sup>

### 4.3.3 テープレコーダー1号機の販売

東通工は「テープコーダー」という登録商標を取って G 型の販売を始めたが、顧客に面白い機械ということで関心は示してもらえないものの、価格も高く大型で使いにくい、明確な用途が分からない、など一般家庭用機器としてはなかなか受け入れられなかった。当面の実際のユーザーは公的機関等が中心で、裁判所での記録用などに使われたが、これは想定していたことでもあり G 型の G は Government の頭文字である。当初、画期的な製品として一般家庭にも普及するものと自信を持って販売を始めたが、興味は持ってもらうものの、購買にはなかなか結び付かない。良いものなら作れば売れる、という楽観的な方針を見直し、テープレコーダーの啓発・宣伝への注力を重視し、トップ自らテープレコーダーの使い方やそのメリットを分かりやすく記した解説書を作って、セールス活動を強化した(図 4.18)。同時に低価格化と使いやすさを目指した新製品開発を並行して進めてもいた。こう

して技術、特許戦略、マーケティングという普及への武器を軸にして、東通工はテープレコーダーのトップメーカーへの基礎を築いていったのである。



図 4.18 東通工のテープレコーダー解説書類

### 4.3.4 東通工と交流バイアス特許

3.6 で述べたように、交流バイアスは 1920 年代に磁気録音の研究過程で偶然発見されたが、世界各地で磁気録音の性能改善に向けた研究が本格化したのは 1930 年代後半であった。ちょうど第二次世界大戦が始まるところと重なり、また録音機技術は放送や音声記録など軍事関連用途への応用と関係が深かったこともあり、各国の技術交流は戦後まで途絶えた状態になってしまった。ドイツの敗戦後、当時最も進歩していたと思われるマグネトフォンが戦勝国によって詳しく調査され、技術移転が急速に進んだ結果、近代的で優れたテープレコーダーが開発・実用化されることになり、高い録音再生性能を発揮するために、交流バイアスが必須の技術と認識されることになったのである。

戦後、国内でテープレコーダー開発を始めた東通工は、独自に磁気テープを作れることと並んで、交流バイアス法の使用がテープレコーダーの商品化に必須と考え、関係する特許について詳しく調査した。日本における交流バイアスの特許は、東北大学の永井健三とその弟子で安立電気で行っていた五十嵐悌二の研究成果として成立しており、権利は安立電気を持っていた(図 4.19)。安立電気と交渉の結果、1949 年 10 月に交流バイアス特許を譲り受けることになったが、当時の東通工にとっては非常に高額な投資であったので、日本電気と共同で購入することになった。この永井特許は 1940 年に日本特許として成立し米国にも出願されていたが、戦争によって手続きは未完となってしまう、その間に米国のカムラス特許が日本以外の各国で交流バイアス法の特許として成立していた。

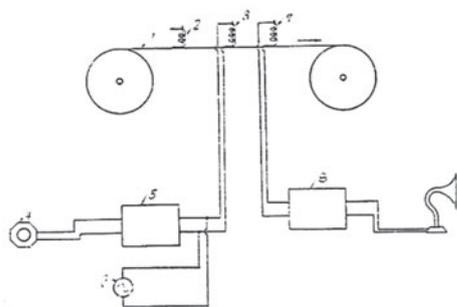
#### 【永井特許】

五十嵐梯二、石川 誠、永井健三

「交流をバイアスとせる磁気録音方式」

特許 136997 号、出願;昭和 13 年(1938 年)3 月、

特許;昭和 15 年 6 月。



- |            |              |
|------------|--------------|
| 1 被録音体     | 5 録音増幅器      |
| 2 減磁・抹消用線輪 | 6 バイアス用高周波電源 |
| 3 録音線輪     | 7 再生線輪       |
| 4 マイクロホン   | 8 再生増幅器      |

図 4.19 交流バイアスに関する「永井特許」一部図面<sup>16)</sup>

#### 4.3.5 交流バイアス特許をめぐる争い

1950 年の G 型発売以来、日本国内でのテープレコーダー市場が急速に立ち上がることになるが、この交流バイアス特許が他社の市場参入を防ぐ上で大きな武器になり、東通工はテープレコーダーの販売において高い市場占有率を確保することができた。このころ、米国系のバルコム貿易が米国製テープレコーダーの輸入販売を本格的に始めた。東通工と日本電気は交流バイアス特許の侵害を訴え、再三、特許料の支払い、もしくは販売の中止などを求めた警告を発したが、バルコム側は無視を続けたため 1952 年 9 月に東京地裁に提訴した。バルコム側は GHQ も巻き込むなど大きな事案になったが、最終的には東通工側が勝訴した。ただし係争途中から米国での特許権者であるアーマー研究所が前面に出てきたため、東通工は輸出への影響を考え、アーマー研との技術援助契約の締結などを含めて和解へと進むことになった。

東通工は国内メーカーに対しても特許許諾について強硬な姿勢を保っていたが、赤井電機が 1954 年、バイアス回路にちょっとした工夫を盛り込んだ「新交流バイアス方式」という技術を搭載したテープレコーダーキットを発売した(図 4.20)。東通工はすぐに特許侵害の抗議をするが、赤井電機は「永井特許に抵触せず」として拒否した。告訴にまで至るが、東通工は業界内での孤立やその他の諸事情を考慮し、結果として和解に至った。ただし製品開発においては激しい競争を繰り広げることとなる。



AKAI AT-2

図 4.20 アカイ AT-1 型テープメカニズム<sup>17)</sup>

1955 年(昭和 30 年)には永井特許の権利が満了になるはずで、大手電気を含め、有効期限切れを待ってテープレコーダーに参入しようとしていたメーカーは多かった。ところが太平洋戦争でこの特許が行使できなかった、との理由で権利期間が 5 年間延長されることになり、準備を進めていた各社は通産省や東通工への反発を強めた。権利行使を拒否する姿勢を続けていた東通工ではあるが、結局、1958 年からは後発メーカーにも永井特許の実施許諾を与えるようになり、製品の開発・販売競争は激化したものの、日本のテープレコーダー産業は大きな飛躍期を迎えることになった。

#### 引用

- 1) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 10」 JAS Journal 2005, Vol.45, No.8 & 9
- 2) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 5」 JAS Journal 2005, Vol.45, No.1
- 3) 森芳久 他:「音響技術史」 東京藝術大学出版会、2011 年 3 月、p.81
- 4) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 8」 JAS Journal 2005, Vol.45, No.5 & 6
- 5) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 24」 JAS Journal 2007, Vol.47, No.4
- 6) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 25」 JAS Journal 2007, Vol.47, No.5 & 6
- 7) 森芳久氏 提供
- 8) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 28」 JAS Journal 2007, Vol.47, No.10
- 9) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 36」 JAS Journal 2008, Vol.48, No.10
- 10) ソニー株式会社 提供
- 11) 阿部美春:「テープ録音機物語 その 36」 JAS Journal 2008, Vol.48, No.10

- 12) 阿部美春：「テープ録音機物語 その37」 JAS  
Journal 2008, Vol.48, No.11&12
- 13) 阿部美春：「テープ録音機物語 その37」 JAS  
Journal 2008, Vol.48, No.11&12
- 14), 15) ソニー株式会社 提供
- 16) 阿部美春：「テープ録音機物語 その32」 JAS  
Journal 2008, Vol.48, No.4
- 17) 阿部美春：「テープ録音機物語 その41」 JAS  
Journal 2009, Vol.49, No.5 & 6

# 5 | 国産テープレコーダーの発展

## 5.1 普及型テープレコーダー

1950年に国産1号機G型を完成させた東通工は、テープレコーダーの普及を目指して翌1951年に普及型のH型(図5.1)を発売する。価格は¥84,000とG型のほぼ半分であった。1モーター、2ヘッドというシンプルなメカ構成とし、テープの動作とアンプの録音/再生切り替えを一つのつまみにまとめるなど、操作系にも工夫を凝らして使いやすくした。また、機械全体をトランク型のケースに収めるなど、デザイン面でもいわゆる家庭用を意識したデザインとした。実際、このH型は東通工が初めて工業デザイナーを使ったセットでもある。H型の1年後、1952年にはさらに価格を下げたP型(¥75,000)(図5.2)を発売する。H型、P型ともに主要な顧客は小中学校関係で、一般家庭向け商品としてはまだまだ高額であり、宣伝、啓発などマーケティングの強化を図ったものの、テープレコーダーそのものの認知度は低かった。

一方、小中学校では視聴覚教育の充実が叫ばれ、テープレコーダーの活用が広がるにつれて、生徒を通してテープレコーダーが一般家庭にも知られるようになり、認知度は急速に上がっていったのではないかとと思われる。1953年には¥50,000を切るR型を発売し、さらに翌1954年にはこの改良型であるTC-301型を「家庭用小型機」として発売する。H型やP型に比して性能的には割り切ったところもあるが、このころから「低価格商品」の大量生産、大量販売が始まり、テープレコーダーは一般家庭に本格的に普及し始めた。

その後も商品開発のスピードを上げ、同年中にTC-301のデラックス版TC-302型を¥57,000で市場に投入する。翌1955年には高級タイプのTC-501(¥84,000)、ステレオ録音可能な2チャンネル型TC-551(¥135,000)を発売するなど、先行メーカーとして立て続けに商品を出していった。さらに1956年にはTC-201型を¥38,000という思い切った価格で発売し、本格的に普及型テープレコーダーの市場を切り開いていくこととなった(表5.1)。テープレコーダーで

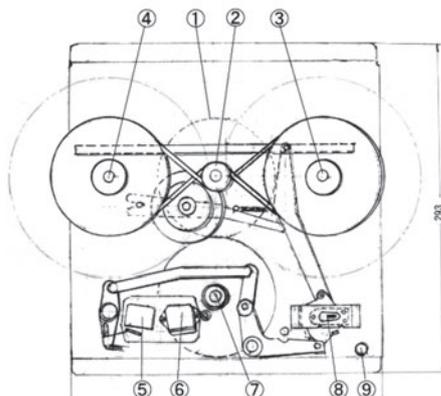
表 5.1 初期の東通工製テープレコーダー<sup>4)</sup>

型番	P-3	TC-301	TC-302	TC-501	TC-551	TC-201	TC-401
発売年月	1954 (S29).10	1954 (S29).09	1954 (S29).12	1955 (S30).09	1955 (S30).12	1956 (S31).07	1956 (S31).08
価格 (¥)	69,500	49,000	57,000	84,000	135,000	38,000	65,000
外形寸法 (mm)	250×400×300	170×300×300	190×320×300	220×490×360	240×690×430	220×420×335	210×420×330
重量 (kg)	14	8	8.3	15	27	12.3	14
最大リール (号=インチ)	7	5	←	7	←	←	←
テープ速度 (cm/s)	19, 9.5	9.5	←	19, 9.5	←	←	←
ヘッド (数)	2	←	←	←	←	←	←
トラック	半幅	←	←	←	全幅消去 2チャンネル・R/P	半幅	←
モーター (数)	2	1	←	←	←	←	←
スピーカー (インチ)	6.5	5	5×7	←	5×7, 2コ	4×6	5×7
マイク (オーム)	10k	←	←	←	×2	10k	←
周波数特性 (19cm/s)	100~7,500Hz	←	←	50~10,000Hz	70~10,000Hz	150~7,000Hz	50~10,000Hz
(9.5cm/s)	←	150~5,000Hz	←	100~6,000Hz	←	200~4,000Hz	100~6,000Hz
SN比 (dB)	40	40	40	50	50	40	45
ワウ・フラッター (%)	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.3	0.25
バイアス (kHz)	30	←	←	50	←	30	50
真空管	6AU6×2, 42.80	6AU6×2, 6AR5 6×4	6AU6×2, 6AQ5 6×4, 6E5M	6AU6×2, 12AU7 6AR5×2, 5GK4 6E5M	6AU6×2, 12AU7×2 6AQ5×2, 6AR5 6E5M×2, 5Y3GT	6AU6×2, 6AR5 6×4	12AT7×2, 6AQ5 6AR5, 5GK, 6E5
電源	AC100V	←	←	←	←	←	←
消費電力 (W)	100	60	75	100	140	60	90

成功を収めつつあった東通工ではあるが、資本力の違いから大手メーカーの進出を強く警戒しており、商品開発力の強化と交流バイアス特許による自社商品の優位性確保に強い関心を払っていた。



図 5.3 TC-551 ステレオコーダ (1955年)<sup>3)</sup>



- ① モーター
- ② モーター軸
- ③ リール軸 (巻取)
- ④ リール軸 (供給)
- ⑤ 消去ヘッド
- ⑥ 録音再生ヘッド
- ⑦ キャプスタン
- ⑧ 切換カム軸
- ⑨ 押ボタン

図 5.1 東通工 H 型と機構部概要 (1951年)<sup>1)</sup>



図 5.2 東通工 P 型 (1952年)<sup>2)</sup>

## 5.2 参入メーカーの増加

交流バイアスの永井特許の許諾について東通工はかたくなに拒んできたが、バルコム貿易およびアーマー研究所との係争が1955年ごろには一段落し、赤井電機が「新交流バイアス方式」と銘打って特許非抵触の主張をするなど、徐々に業界の様相は変化してきた。(4.3.5参照) また、早い段階から監督官庁(通産省)もバルコム貿易との係争で東通工のとった方針は支持するものの、かたくなな特許の権利主張には、業界全体の発展という見地から疑問を持つ側面もあった。東通工はトランジスタラジオの開発資金確保のためにも、新規商品として成功を収めつつあったテープレコーダーでの優位性を保つことに腐心してきたが、ある程度創業者利益を確保できたこと、商品開発力に自信を持てるようになったこと、輸出も含めた市場の拡大には競争もやむを得ないこと、等々を考慮し、1958年には日本電気と東通工を窓口として国内メーカーに永井特許の実施許諾をすることにした。

アナログ式テープレコーダーにとって必須の交流バイアス方式が(許諾料はあるものの)自由に使えるようになり、松下電器産業、三洋電機、東芝、東京電機音響(後のテアック)、八欧無線(後のゼネラル)など10社以上が民生用テープレコーダー生産を始めた。その中で松下は早くから中央研究所を軸に研究・開発を進めており、特許許諾が実現した直後の1958年8月に後発メーカーの先頭を切ってRQ-201型(図5.4)を発売する。このセットは松下通信工業製で、本体の松下電器産業製はその年の12月に数機種が同時に発売された。



図 5.4 松下 1 号機 RQ-201 (1958 年)<sup>5)</sup>

### 5.3 教育用テープレコーダー

戦後、GHQ からの要請があって文部省は視聴覚教育を推進する動きを強め、16mm 映写機を全国の小中学校に貸し出すなどしていた。また NHK は音響を受け持ち、本格的に学校向け教育放送を始めることとなった。このような流れがテープレコーダーの普及を後押しする大きな力となり、小中学校向けの需要が伸びる要因ともなったが、初期のテープレコーダーは操作方法や規格、用語などがばらばらで、互換性も全く不十分であった。このような状況を是正するべく、教育用として必要と思われる諸特性について基準を定めることとなり、NHK 技研で原案を作り 1954 年に文部省が規準を制定した。主な内容は下記のようなものであった。

- (1) 通則：教育用テープレコーダーの定義
- (2) 構成：機械の要件
- (3) 規格および特性条件
  - 1) 各種性能基準や基準テープ
  - 2) レベル表示と基準録音レベル
  - 3) 録音トラック配置→互換性の確保
  - 4) 総合音響特性
- (4) 絶縁試験および耐圧試験
- (5) 製品表示および付属図書

1955 年ごろからこの基準に準拠したスピーカー内蔵型の普及型国産テープレコーダーが発売されるようになっていくと同時に、欧米など海外からも同様な形式のテープレコーダーが種々輸入され、国内で販売された(図 5.5)。これらの教育用(学校向け)テープレコーダーは、価格もこなれてきたものの、やや大型で業務用途機器の色合いが強く、家庭用としてはより小型軽量で持ち運び可能なタイプが普及していった。リールサイズは学校向けでは 10 号(27cm)から 7 号

(18cm) が標準であったが、家庭用では 7 号からさらに小さい 5 号(12cm) が主流になっていく。1 巻のテープでの録音時間はできるだけ長くしたいが、テープ代も家庭用機器では大きな要素であり、テープ消費量を節約するためテープ速度も 19cm/s、9.5cm/s に加え、4.8cm/s も標準的な仕様になっていった。1960 年ごろになると、かなり価格を抑えた普及機が数多く登場し、家庭でもテープレコーダーを勉強に使う、といった需要も生まれた(図 5.6、図 5.7)。中小メーカーが数多く参入した時期が過ぎ、大手メーカーが本格的にテープレコーダーに取り組み、優れた製品を生み出し始めたのもこのころである。松下からは 4 号(10cm) リールという専用リールを使い、テープ速度を 4.8cm/s にして小型・軽量化を計るとともに、価格を同クラス機のほぼ半分の ¥10,000 に抑えた RQ-303 型(図 5.8)が発売され大ヒットモデルになるなど、大手による普及機の競争が激しくなっていた。なお 1958 年に東京通信工業は社名をソニー株式会社に変更し、製品と社名の統一によるブランド名の強化に注力していくようになる。



図 5.5 西独グルンディッヒ製 TK-9 型<sup>6)</sup>

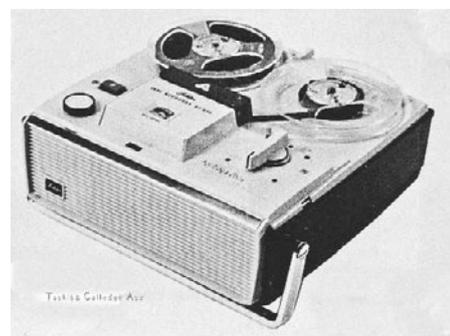


図 5.6 東芝 GT-620 「カレッジエース」 <¥18,800><sup>7)</sup>



図 5.7 ソニーTC-111<¥19,800> (1961年)<sup>8)</sup>

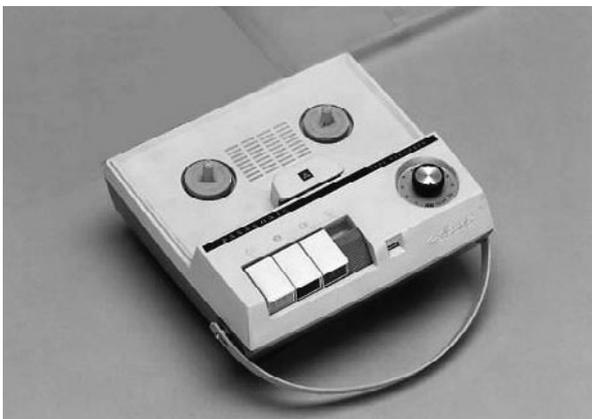


図 5.8 松下 RQ-303「マイソニック」<¥10,000> (1963年)<sup>9)</sup>

## 5.4 「デンスケ」の登場

戦争が終わって間もない1946年(昭和21年)、NHKは藤倉修一アナウンサーの担当する、いわゆる街頭録音というインタビュー番組の放送を開始したが、一般の人々が出演者になる「視聴者参加型」という形式の目新しさや、時の世論を反映したインタビュー内容とが好評を博し、かなりの人気番組となった。このとき、最初に収録用機材として使われていたのは、戦前から放送用機材として使われてきた円盤式録音機(図5.9)であった。可搬型とはいえ重量もあり、振動には弱く、録音時間が限られる上に録音盤の取り替え、録音レベルの調整等々、取り扱いはかなり難しく街頭での運用には相当苦労したのではないかとと思われる。

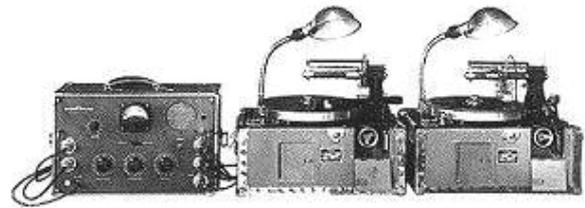


図 5.9 街頭録音で活躍した、電音製円盤式録音機<sup>10)</sup>



図 5.10 スタンシル・ホフマン「ミニテープ」<sup>11)</sup>

そのころ、米国から可搬型テープレコーダーが紹介され、1951年には街頭録音番組用としてNHKで採用されることになった。この機械はスタンシル・ホフマン社製の「Mini Tape」という肩掛け式テープレコーダーである(図5.10)。5号リールで38cm/sと19cm/sの2速が可能、モーターは直流式で内蔵のパイプレータ発振器(どんなものかは不明)に同期して回し、安定回転数を得るという駆動方式である。アンプは真空管式で基本的に録音アンプしか持たず、別売の小型増幅器を付けるとモニターができる、という録音に徹した仕様であった。東通工の木原はこの機械の話聞き付け、実物を目にする前から写真その他を参考に同様な機械の検討に着手し、1951年3月に試作を始め、7月にはNHKに納入している(図5.11)。「ミニテープ」機を参考にしたとはいえ、非常な短期間で実用になる機械を開発したことは驚異的である。増幅部は真空管で、やはり録音に特化した方式とし、消去ヘッドを省いた録再ヘッドのみの1ヘッド仕様という簡素な構成であった。このため録音テープはあらかじめ消磁機で完全に消去しておく必要があったが、プロが使う収録用機器としては、信頼性確保を重視した簡素化はむしろ望ましい、として受け入れられた。テープの走行系・駆動系は「ミニテープ」とよく似ているが、当時、国産では適切な直流モーターを手に入れる

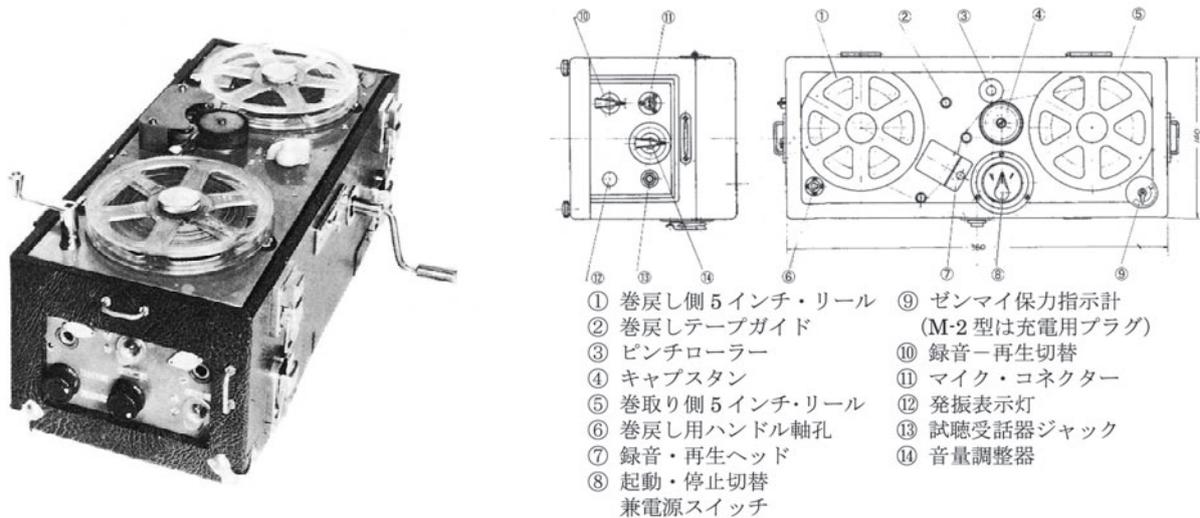


図 5.11 東通工 M-1 型 (1951 年) 写真と外観図<sup>12)</sup>

ことはできず、結局、日本コロムビア製の蓄音機用の手巻き式スプリング・モーター（ゼンマイ・モーター）を使うことになった。いっばいに巻き上げて約 4 分の駆動ができたが、追加巻き機構を組み込み、5 号リールで 15 分の連続録音ができるように工夫されていた。

NHK はこの東通工製肩掛け型録音機を導入した結果、街頭録音の機動性が一気に向上して番組の人気も上昇した。この街頭録音の様子を漫画にしたのが、毎日新聞に連載された横山隆一氏の「デンスケ」で、主人公がこのテープレコーダーを肩に、世相を映した街頭録音に飛び回る姿から、いつしか東通工製テープレコーダーが「デンスケ」と呼ばれるようになり、放送業界では外録用機の通称となった。

東通工は後にこのデンスケという名称を商標として登録し、同社の可搬型テープレコーダーの愛称とした。デンスケの名はプロの間では通用していたものの、民生機の世界ではその後しばらく忘れられていたが、1973 年ポータブル・カセットデッキ TC-2850SD が「カセット・デンスケ」（図 5.12）の名前で登場し生録ブームの火付け役となったことで、あらためて民生機器の愛称として人気を集めた（6.11 参照）。その後オープン型（図 5.13）やエルカセット型（図 5.14）の「デンスケ」も登場し、デンスケの名は民生用機器の間でも高性能可搬型テープレコーダーの代名詞となったのである。



図 5.12 ソニー TC-2850SD (1973 年) カセット・デンスケ<sup>13)</sup>

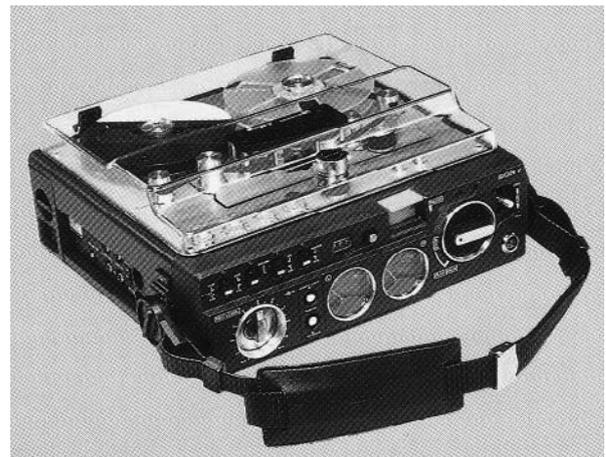


図 5.13 ソニー TC-5550-2 (1974 年) オープン・デンスケ<sup>14)</sup>



図 5.14 ソニー EL-D8 (1977 年)  
エルカセット・デンスケ<sup>15)</sup>

## 5.5 超小型磁気録音機

東通工は肩掛け型テープレコーダーの国産化に成功し、NHKのみならず民間放送局にも採用されるようになったが、さらなる小型化を目指して研究・開発を進めていた。1952年、ドイツで「ミニホン」という超小型の磁気録音機が開発、発売された(図 5.15)。直径 0.05mm の鋼線を使ったワイヤレコーダーであるが、小型の筐体内に精密なメカニズムを取め、録音再生や巻き戻しなど各動作時に、適切なテンションが常に鋼線にかかるようにして断線やジャミングを防ぐなど、使いやすさや動作安定性も考慮された精密な機構を備えていた。1955年には米国でこのミニホンのコンセプトをベースにしたような「ミゼテープ」という磁気録音機が登場した(図 5.16)。これは小型のリールを 2 段に重ねてケースに入れたカートリッジ型のテープを使う、ユニークな構造を持った超小型テープレコーダーである。

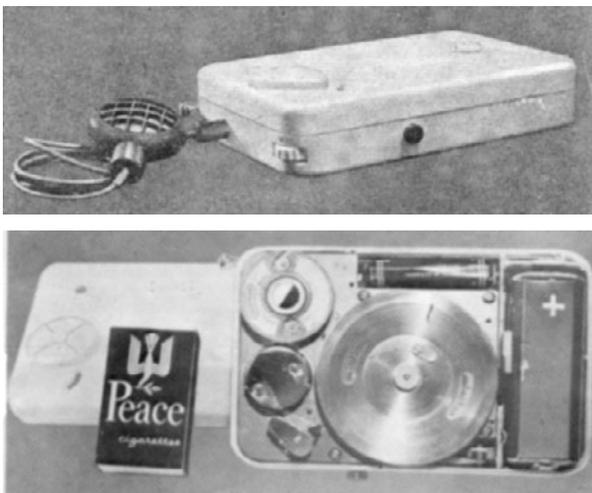


図 5.15 ミニホンの外観と内部 (1952 年)<sup>16)</sup>

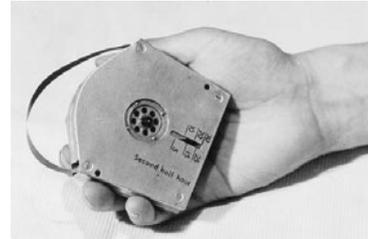
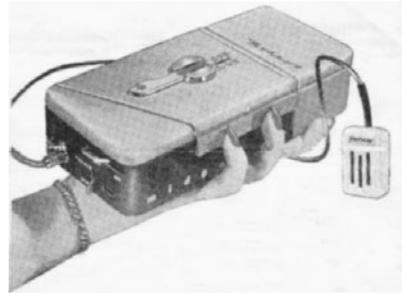


図 5.16 ミゼテープ (Midgetape) と専用テープカートリッジ (1955 年)<sup>17)</sup>

これらを参考にしたとは思われるが、性能を保ちつつ小型軽量化を目指し、増幅器はトランジスタ化を実現して作り上げたのが、東通工の SA-2 型「ベビコーダー」(図 5.17) で 1957 年に発売されている。単三電池 10 本で動作し、ミゼテープと同様なカートリッジタイプで、使い勝手と小型化を達成した本機は、M 型以上の機動性が期待されて、放送局などかなりの数が納入されたようである。価格は 10 万円以上と高価で、一般的な商品ではなかったため数年で姿を消したが、小型軽量を追及するという東通工の開発スタンスは、その後の日本の家電業界の開発動向を象徴しているようにも思える。

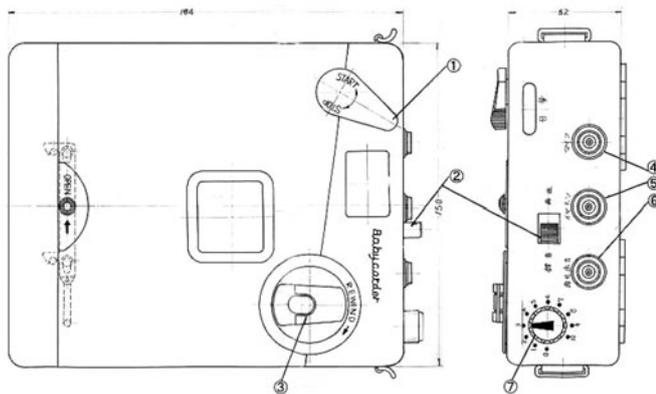


図 5.17 ソニーSA-2型「ベビーコーダー」(1957年)<sup>18)</sup>

## 5.6 電池式テープレコーダー

1959～1960年前後、リール回転のみでテープを駆動する「リール駆動式」の電池式テープレコーダーが、輸出専門メーカーによって数多く作られ始める。これは1958年にドイツのメーカーが作ったリール駆動式テープレコーダーの類似品ととらえることができるが、構造が簡単で比較的安易に製造できるため、主に米国向け輸出品として作られたようである。リール駆動式とは、テープを一定速度で送るキャプスタンを持たず、巻き取り側のリールを一定回転で回して録音する方式であり、シンプルな機構で実現できる。反面、テープの巻き始めと巻き終わりでテープ速度が変わるため、録音した機械で再生する(自己録再)場合は良いが、他の機械で再生するときの互換性は期待できない。またテープの始まりと終わりで録再性能が変わってしまうので高音質録音機への展開も難しい。この種のテープレコーダーが国内市場に登場することはなかったが、性能を割り切って価格も低く抑えた製品は、玩具的なものも多かったようである。

キャプスタン駆動方式の本格的な電池式ポータブルテープレコーダーが徐々にその数を増やし、1960年代の半ばまでには簡易型のリール駆動式は姿を消すことになるが、テープレコーダーが輸出産業として確立していくのがこのころであり、その後のコンパクトカセット式テープレコーダーでの日本メーカーの活躍につながっていくことになる。ソニーはキャプスタン駆動方式で業務用も狙えるような性能を備えたSA-2型ベビーコーダーや、民生用の小型機TC-902型(図5.18)など、電池で動くポータブルテープレコーダーを発売するが、必ずしもうまくはいかなかった。

松下電器は1958年にテープレコーダー市場への参入を果たすが、先行するソニー(東通工)に対して決定的な強みを見いだせなかった。そこでソニーが果たせずにいた「電池式ポータブルテープレコーダー」に的を絞って挑戦し、市場に定着させることに尽力する。当時、電池式が難しいと思われていた最大の要因は良質な小型直流モーターがなかったことである。松下は社内の電池部門やデバイス部門の協力も得たものと思われるが、機構の簡素化やモーター効率の向上など基本的な部分での開発を積み重ね、1960年12月にRQ-112(¥37,500)を完成する。翌1961年には改良型のRQ-114型を発売し、電池式ポータブルテープレコーダーの基礎を固め、1965年のベストセラー機RQ-102型へとつなげていった。ソニーも後発メーカーの動向に刺激され、1966年にはダイレクトドライブ方式サーボモーターを搭載したTC-800型(¥36,000)(図5.19)を登場させるなど、大手メーカーによる開発競争はますます激しくなり、コンパクトカセット時代へと突入していくこととなる。



図 5.18 ソニーTC-902 (1959年)<sup>19)</sup>



図 5.19 ソニーTC-800 (1966年)<sup>20)</sup>

## 5.7 機能、性能の進化

### 5.7.1 ステレオ化

テープレコーダーは同じテープの上に平行して複数録音することができるので、原理的にステレオ化は容易である。音楽媒体として確固たる地位を占めていたのはディスクであるが、1本の音溝にどうやって二つの信号を記録(カッティング)し再生するかは、非常に難しい問題であった。英国の電気技術者アラン・ブルムライン(Alan Blumlein)は1931年に、音溝の左右の壁に別々の信号を記録する45/45方式のアイデアで特許を取ったが、実用になったのはLPレコード登場後の1958年であった。

磁気録音機によるステレオ録音の実験は鋼線式録音機を使って1939年に既に行われていたが、テープレコーダーによって実用化されたのは、1949年に米国のマグネコード社が2トラック録音機を発売したときである。このときのヘッド配置は二つのチャンネルが少し離れたスタガー式(図5.20)と呼ばれるものであった。当時のヘッド製造技術では一つのヘッドに二つのトラックを装備するような精密な加工が困難で、トラックごとに独立したヘッドを使わざるを得なかったためであろう。米国では1950年代後半にかけてステレオ式のテープレコーダーが数多く発売され、一般家庭にも普及していったが、オーディオ装置の一員として家庭内での音響機器と組み合わせて使われるようになると、レコードプレーヤーと同様な機械が使いやすく、コストを性能向上にかけられることもできるので、スピーカーを持たない「ステレオ・テープデッキ」が急速に伸びていった。この過程でヘッド技術の進歩もあってヘッド配置はスタガー式からスタック式(インライン式)(図5.21)へと切り替わり、ステレオ・テ

プレコード(ミュージックテープ)が家庭内でのステレオ再生のメディアとして活躍したが、ステレオLPレコードが発売されると、価格の安いLP(ディスク)が急速にその地位を奪っていった。日本ではステレオ式テープレコーダーの普及は遅かったが、1970年ころからFMステレオ放送が本格化し、その録音用としてテープデッキが大きく普及していった。

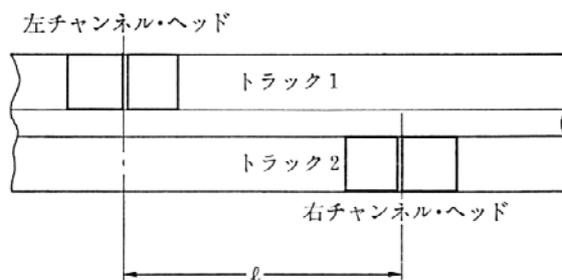


図 5.20 スタガー方式ヘッド配置<sup>21)</sup>

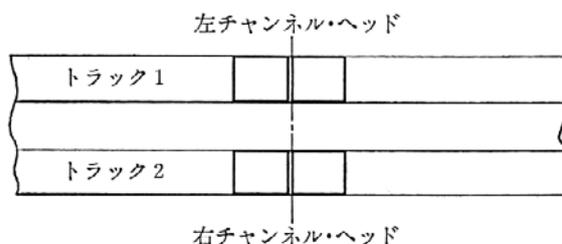


図 5.21 スタック方式ヘッド配置<sup>22)</sup>

### 5.7.2 トランジスタ化

テープレコーダーのアンプ部は当初真空管式だったが、トランジスタが電子機器に使われるようになってくると、テープレコーダーへの応用が検討され始める。国内では1959年にハイファックスがTR-100S型というステレオ・テープデッキにトランジスタを搭載したが、素子の使いこなしは難しく、雑音が大きかったりアンプ動作が不安定だったり製品としての完成度が低く、すぐに姿を消してしまった。

本格的なトランジスタ式テープレコーダーは1961年にソニーから発売されたTC-777型(図5.22)が最初といえるだろう。この機械はモノラル機であるが3ヘッド・3モーターで電子式の操作ボタンを持ったセミプロ級の高級機であり、パワーアンプとスピーカーも内蔵していた。非常にコスト・パフォーマンスが高く、デザイン的にも優れていたため大変評判になり、1964年には後継機がステレオ・テープデッキとして発売された。これ以降、テープレコーダーのトランジスタ化は急速に進み、電池式や小型機器というコンパクト・カセット式の特長につながっていった。



図 5.22 ソニーTC-777 (1961 年)<sup>23)</sup>

### 引用

- 1) 阿部美春：「テープ録音機物語 その41」JAS Journal 2009, Vol.49, No.5 & 6
- 2) 阿部美春：「テープ録音機物語 その41」JAS Journal 2009, Vol.49, No.5 & 6
- 3) 阿部美春：「テープ録音機物語 その41」JAS Journal 2009, Vol.49, No.5 & 6
- 4) 阿部美春：「テープ録音機物語 その41」JAS Journal 2009, Vol.49, No.5 & 6
- 5) 阿部美春：「テープ録音機物語 その27」JAS Journal 2007, Vol.47, No.8 & 9
- 6) 「オーディオ 50 年史」 日本オーディオ協会、1986 年 12 月、p.476
- 7) 阿部美春：「テープ録音機物語 その39」JAS Journal 2009, Vol.49, No.2 & 3
- 8) 阿部美春：「テープ録音機物語 その39」JAS Journal 2009, Vol.49, No.2 & 3
- 9) 阿部美春：「テープ録音機物語 その39」JAS Journal 2009, Vol.49, No.2 & 3
- 10) 阿部美春：「テープ録音機物語 その45」JAS Journal 2009, Vol.49, No.11 & 12
- 11) 阿部美春：「テープ録音機物語 その45」JAS Journal 2009, Vol.49, No.11 & 12
- 12) 「オーディオ 50 年史」 日本オーディオ協会、1986 年 12 月、p.481
- 13) 「オーディオ 50 年史」 日本オーディオ協会、1986 年 12 月、p.481
- 14) 2), 8), 13), 14), 15), 18), 19), 20), 23) ソニー株式会社 提供
- 15) 5), 9) パナソニック株式会社 提供

# 6 | カートリッジ式テープレコーダーの登場

## 6.1 オープンリール式テープレコーダーの特徴

戦後、本格的なテープレコーダーが登場すると、急速に円盤式録音機を置き換え、1960年代までに業務用から家庭用まで録音機としての地位を確立した。放送局や録音スタジオでは不可欠な機材となり、また音楽製作現場ではマルチトラック録音による新しい音楽創出を可能にするなど、業務用の分野では広く受け入れられていった。さらにその優れた特性は多くのオーディオファンを魅了し、家庭用のオーディオ機器として確実に普及していった。しかしテープレコーダーは誕生以来、リールに巻かれたテープを機械にセットして使う「オープンリール式」と呼ばれる方式であった。オープンリール式テープレコーダーは、優れた特性を発揮させるために早いテープスピードを使ってテープ消費量が多くなり、リールのサイズや機器のサイズが大型になりがちだった。もちろん小型の機器も作られたが、特性や録音時間などがある程度割り切った製品であることが多かった。また、リールに巻かれたテープを機械にセットするのは、一般の人にとってはけっこう面倒で扱いづらい作業であり、時にはリールに巻かれたテープを不用意に扱って痛めたり、巻きがほだけてテープがジャミングするなどのトラブルも多かった。このような欠点を改善する方法としてテープをカートリッジ（ケース）に入れたまま扱うことが、戦後のかなり早い時期からいくつも検討されたが、なかなか実用化までには至らなかった。

## 6.2 RCA カートリッジ

米国では1950年代半ばから家庭でのステレオ再生装置としてステレオ・テープデッキが使われることが多くなり、ミュージック・テープもかなり発売されるようになった。45/45方式のステレオ・LPレコードが発売されたのは1958年で、普及は進みつつあったものの、1960年代中ごろまで米国での家庭用オーディオ装置ではテープによるステレオ音楽再生が多かった。このようなミュージック・テープの普及を背景に、RCAは早くから独自にカートリッジ式テープレコーダーの研究を進めており、1958年には、米国のRCAビクターから独自のカートリッジ式テープ（図6.1）が発表され、レコーダーと同時に150種類ほど

のミュージック・テープが発売された。カートリッジのサイズは120×184×12mmと後に登場するコンパクト・カセットに比べるとかなり大型であった。テープ幅はオープンリールと同じ6.3mm、厚みは25 $\mu$ mと薄くして600ft（約180m）のテープを取納した。テープ速度は9.5cm/s、トラックは4トラック/2チャンネルのステレオで、片道32分の録音・再生ができる仕様であった。しかし量産したときのカートリッジ自体の精度確保が難しく、期待される録再性能を発揮するには狭ギャップヘッドが必須となるなど、当時の部品技術、製造技術ではやや無理のある仕様であったため製品の品質確保が困難で、賛同メーカーも増えることなく失敗に終わった。

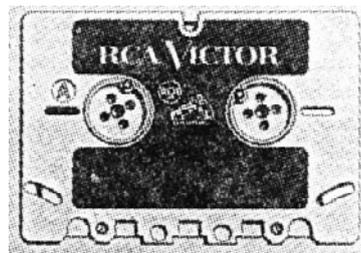


図6.1 RCA カートリッジ<sup>1)</sup>  
120 × 184 × 12mm

## 6.3 カーステレオとエンドレス・カートリッジ

米国ではオーディオ機器の家庭への普及が進むとともに、車載機器としての需要、すなわちカーステレオの開発にも拍車がかかってきた。カーラジオから始まった車内でのエンターテインメント機器は、ディスク・レコードによるカーオーディオという機器（図6.2）も生み出すなど、ユーザーの期待に応えようとする気運が急速に高まり、テープレコーダーもカーオーディオに的を絞ったカートリッジ・タイプが開発されるようになった。車では振動が大きな問題であり、ディスクではこの克服が非常に困難で普及は果たせなかったが、テープレコーダーは原理的な強みもあって耐振性を比較的簡単に克服することが可能だった。カーステレオとして使うテープレコーダーは、従来型よりも小型軽量であることに加え、操作性やテープの保管のためにカートリッジ式が絶対条件であった。

1962年に米国でフィデリパック・カートリッジが

発売され、車載用として普及が始まる。このカートリッジは幅6.3mmのテープをエンドレスのループ型に収納したもので、102×133×24mmというサイズであった。4トラックステレオ方式（ステレオで2プログラム）でテープ速度は9.5cm/s、演奏時間は10分という仕様であった（図6.3）。

1965年になると同じく米国のリアジェットから、フィデリパックに対抗してほぼ同じ大きさ（102×136×22mm）の8トラック・カートリッジが発売された（図6.4、図6.5）。テープの幅、テープ速度はフィデリパックと同じだが、8トラック（ステレオで4プログラム）で演奏時間は約60分であった。この8トラック仕様という強みが奏功してカーステレオの標準仕様としての競争に勝ち、しばらくの間、米国を中心に広く普及した。日本でも初期のカーステレオは8トラック・カートリッジが使われ、またカラオケ用装置のテープとして人気を博し、その後のCDやレーザー・ディスクによるカラオケ機器の発展のさきがけともなった。



図6.2 車載用レコードプレーヤー（XLPレコード）<sup>2)</sup>

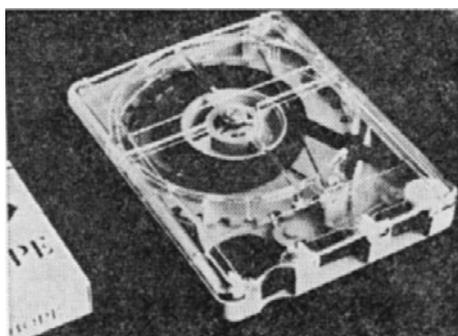


図6.3 フィデリパック・カートリッジ（1962年）<sup>3)</sup>  
102×133×24mm 4トラック・2チャンネル

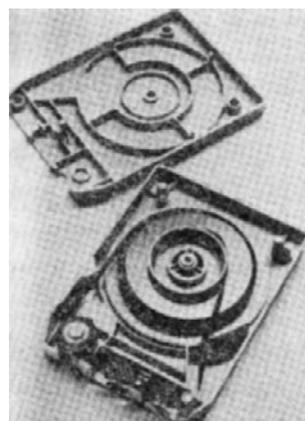


図6.4 リアジェット・8トラック・カートリッジ（1965年）<sup>4)</sup>  
102×136×22mm 8トラック・2チャンネル

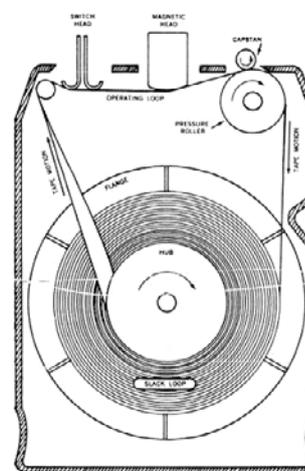


図6.5 8トラック・カートリッジ構造図<sup>5)</sup>

## 6.4 コンパクト・カセットの登場

米国でカーステレオの人気が高まり、エンドレス・タイプのカートリッジ型テープが登場してきたころ、欧州ではツインハブ式のカートリッジ型テープが注目を集め始めていた。これがオランダのフィリップス社が開発した「コンパクト・カセット」である。6.2で述べたRCA社は、自社のカートリッジ設計を欧州のテープレコーダーメーカーにも解放し普及を図ったが、賛同メーカーは増えずRCAカートリッジ自体は失敗に終わった。その後、このカートリッジの小型化と改良を欧州メーカーと共同で進め、新たなカートリッジ方式が生まれるきっかけとなったが、各社の意見の相違から下記の二つの方式が併存して覇権を争う形になった（図6.6）。

(1) DC（ダブル・カセット） インターナショナル

方式

推進者：グルンディッヒ、テレフンケン、ブラ  
ウプンクト（3社とも独）

発売：1963年

(2) コンパクト・カセット方式

推進者：フィリップス（蘭）

発売：1962年 テスト販売→1964年 本格販売

どちらも RCA カートリッジに比べて小型であることが特徴的で、テープ幅やテープ速度等もオープンリールの基本仕様を踏襲せず、使いやすさを最重視した全く新しいフォーマット提案であった。結果的にコンパクト・カセット規格が成功することになるが、主要な理由として下記が考えられ、その中でも普及を重視した特許の無償公開というフィリップス社の決断は非常に大きな要因となった。

コンパクト・カセットの成功要因

- (1) より小さいカートリッジ・サイズ。
- (2) ツインハブの構造によりテープの損傷防止や走行性の向上を図ったこと。
- (3) 優れた音質・性能。（可能性を秘めていたととらえるべき）
- (4) 試験的販売によって市場からのフィードバックを獲得するという慎重な開発姿勢。
- (5) 特許の無償許諾。

フィリップス社は当初から特許の無償許諾を打ち出していたわけではなく、対抗規格の DC インターナショナルとの競争の中で、最終的に無償という方針に変わっていったようである。1963年ころ、グルン

ディッヒ社からソニーに対して、DC インターナショナルの規格化を共同で推進しようという提案があり、そのすぐ後にはフィリップス社がコンパクト・カセットについて同様な働きかけをしてきた。フィリップスは他の日本の各社にもコンパクト・カセットの採用を打診しており、1個当たり25円というロイヤリティーを提示していた。ソニーが難色を示すと、大幅に額を下げるから契約を結ぶようにと促したが、かたくな拒否に合い、無料という線まで折れることを表明した。しかし独占禁止法や企業としての信頼性の観点からソニー1社というわけにはいかず、結局、1965年に全世界のメーカーを対象に基本特許の無償公開に踏み切った。ただし「厳密に規格を守り互換性を厳守する」ことを契約の条件とした。このことがコンパクト・カセットの普及、発展に非常に大きな力として作用したのである。

コンパクト・カセット規格では「互換性」ということが強く意識されており、トラック配置もオープンリール型と違って、モノラルとステレオで互換性のある形が取られている（図6.7）。このように厳密に規格を定めて、その範囲にあらゆる工夫を注ぎ込み強力な商品開発を進める…という枠組みは、ユーザーに利便性とともな製品やフォーマットへの信頼感を与えるだけでなく、自己を否定する革新的技術の短期参入の歯止めともなり、日本メーカーにとって力を発揮する絶好の形になったのではないと思われる。

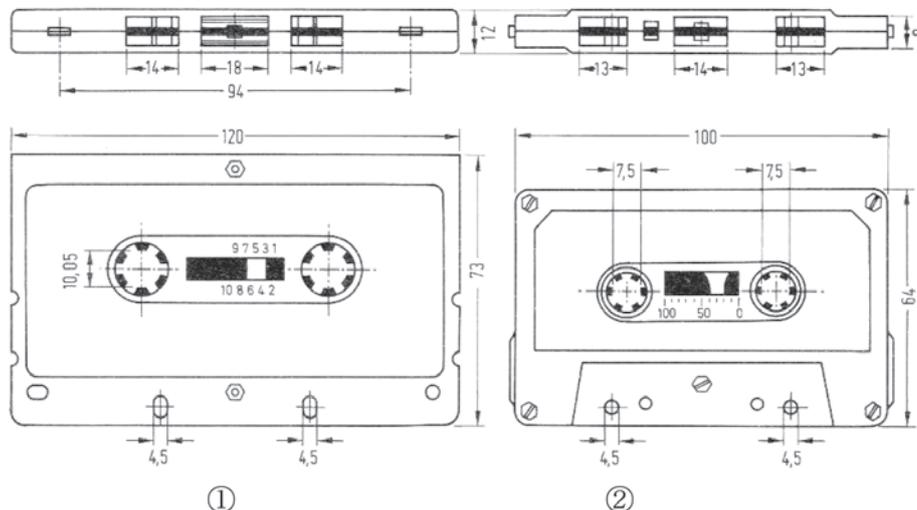


図 6.6 ① DC インターナショナルと②コンパクト・カセット<sup>6)</sup>

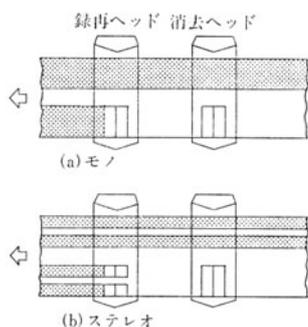


図 6.7 コンパクト・カセットのトラック配置<sup>7)</sup>

## 6.5 コンパクト・カセットでの技術開発テーマ

コンパクト・カセットは最初、音楽用のいわゆる Hi-Fi といえる性能は期待されず、メモ録音用のモノラル機としてスタートした。フィリップスは市場導入に際して慎重にテスト販売を行い、コンパクト・カセットシステムの基礎を確実に固めることに成功するが、4.76cm/s という遅いテープ速度と、0.6mm (ステレオの場合の 1 トラック) という狭いトラック幅で Hi-Fi 性能を達成し、音楽用テープレコーダーの主流となりえた陰には、いくつかのキーとなる技術の進歩があった。テープレコーダーにおいてより原音に忠実な録音を行うには、広い周波数特性とダイナミックレンジを確保することが必要であり、技術開発の目標となる。また、テープ走行に関する機械的な性能では、テープ速度が安定しており、走行の乱れがなくヘッドとの密着性が常に確保されていることが非常に重要である。オープンリール式ではテープ速度を上げたり、トラック幅を広く取るなどの方法で性能改善を狙えし、機構も比較的自由的な設計が可能なので走行性能を改善しやすい。反面、テープ消費量が増えたり、機器が大型化するなどのデメリットもあるものの、徹底した音質追求には適していた。コンパクト・カセットの場合は、表 6.1 に示したようにオープンリールに比べてテープ使用量が非常に小さく、かつ規格厳守が条件になっているので、速度やトラック幅を変えることはできず、基本的な録音性能を上げるにはテープの磁性体やそれを生かすヘッドの開発が必須となった。またテープ走行系がカートリッジ内の狭いスペースに形成される上、機構全体も小型になるので、テープの走行精度の確保が難しく、モーターや機構部品の精度向上も重要な開発要素になったのである。このようなさまざまな制約の中で優先的に開発が進められた主な技術課題を以下にあげた。

- ・テープ：酸化鉄を上回る高性能な磁性体の開発。
- ・ヘッド：テープ磁性体の性能を生かすコア材料の開発、安定した狭ギャップの実現。
- ・ノイズリダクション：コスト・パフォーマンスの高いシステムの開発と標準化（デファクト化）。
- ・サーボ技術：小型 DC モーター、低速回転モーターでの高精度回転制御の実現。
- ・メカ精度向上：小型部品での強度と精度の確保。新素材の積極導入。

表 6.1 オープンリールとコンパクト・カセット基本パラメータ比較

	テープ速度 (cm/s)	トラック幅 (mm)
オープンリール	9.5~38.0	1.0 (4 トラック・ステレオ) 2.0 (2 トラック・ステレオ)
コンパクト・カセット	4.76	0.6 (ステレオ)

## 6.6 国際標準としての成功

戦後、オープンリール式で始まったテープレコーダーは、音質の良さや長時間録音という特徴に加え、円盤式録音機に比べて取り扱いの容易さが評価され、録音機としての地位が確立した。低価格化により家庭用としても普及し、ミュージック・テープも発売されるなどオーディオ機器としても発展したが、オープンリール機は大型で使い勝手もやや難しいなど、さらなる普及のためには難点もあった。前節までに述べたように、テープをケースに入れたまま使うカートリッジ方式という構想がいくつも提案されてきた 1960 年代の中ごろに、比較的オーソドックスな案としてコンパクト・カセット方式は市場に登場した。導入初期には他の類似方式との主導権争いもあったが、全世界の賛同メーカーに無償で実施許諾を与えるというフィリップスの思い切った特許政策が奏功し、早い段階で国際的なデファクト・スタンダードとなることができた。方式統一により、賛同メーカーのみならず、素材メーカー、部品メーカーなど周辺業界も、安心してコンパクト・カセット方式に向けた開発投資を行うことができ、技術的充実が急速に進むという好循環を生んだ。小型化のために基本的な仕様はオープンリール式に比べるとかなり劣るものであったが、限られた条件の中で録再性能を向上させるため、テープ、ヘッド、ノイズリダクション、サーボ制御等々、多角的かつテープレコーダーとして本質的な技術開発が集中的に行われ

た。こうして1970年代初頭までに、カセット・デッキは音響機器として十分認められるレベルに達し、コンパクト・カセット式テープレコーダーは、玩具ではない本物の磁気録音機として認知されるようになったのである。

## 6.7 コンパクト・カセット式テープレコーダーの日本上陸

1965年5月、フィリップス製カセット・レコーダーEL-3301型が日本で初めて発売され、我が国におけるコンパクト・カセット時代が始まった。最初の販売を担ったのは電気店ではなく三越百貨店であり、¥27,000というかなりな高額商品であったが、当時高い格調を誇った三越の特選品売り場という演出と巧みなPRで、瞬く間に売り切れたそうである(図6.8)。翌1966年4月には松下電器がフィリップスからのOEMで、EL-3301T(図6.9)を発売、6月にはアイワが国産1号機を発売している。同年末までにはソニー、サンヨー、コロムビア、スタンダード工業などが製品を発売、1967年には国内の主要音響機器メーカーのほとんどがコンパクト・カセット式テープレコーダーを商品ラインアップに加え、激しい開発・販売競争が始まっていった。



図6.8 フィリップス EL-3301  
発売当時のカタログ(1965年)<sup>8)</sup>



図6.9 松下 EL3301T(1966年)<sup>9)</sup>

## 6.8 標準型カセット・テープレコーダー

コンパクト・カセットが登場したころのテープレコーダーは、おけいこ事なども含めた学習用のような用途が多かった。一方で音楽録音用の高級デッキも盛んに開発競争が行われていたが、一般的なテープレコーダーは、家庭用でバッテリーでも駆動可能なモノラル型で、なおかつ価格もある程度抑えられたものであった。3~5インチリールの家庭用オープンリール・テープレコーダーは市場に受け入れられてはいたものの、サイズ・重量・使い勝手などを考えると、ユーザーはある程度機械の操作ができることが必要であり、学生など若い人に限られる傾向は否めなかった。コンパクト・カセットの登場は、従来テープレコーダーの購入層とは考えられていなかった、女性や高齢者なども対象とするきっかけとなり、家庭用テープレコーダー市場を大きく刺激することとなった。ターゲット・ユーザーがより一般層に拡大したことによって、必然的にテープレコーダーの外観は親しみやすい形状とデザインに進歩していくこととなり、水平型でマイクロホン内蔵、ピアノキー式操作ボタンを備えた形のコンパクト・カセット機が増えていくこととなる(図6.10、6.11)。一般的なモノラル機に加え、テープデッキとしても使える機能を備えたステレオ機もラインアップに加わるなど、テープレコーダーの主流となりうるような動向を示していた。



図 6.10 ソニー TC-100 (1966年)<sup>10)</sup>  
ソニー初のコンパクト・カセット機



図 6.11 ソニー TC-1160 (1968年)<sup>11)</sup>  
初のエレクトレットコンデンサーマイクロホン内蔵機

## 6.9 超小型ハンディー機

ソニーでは1966年のTC-100型で最初のコンパクト・カセット式テープレコーダーを実現した。AC電源のみならずバッテリー、車のシガーライターなど複数の電源で動くことや、カセットがポップアップする機構やピアノキー式操作ボタンなど、機能面での使いやすさも追及した製品であるが、形状はフィリップスの初期製品と類似したやや奥行きのある縦長形状で、机の上に置いて使うのが基本であった。コンパクト・カセットの特長を最大限に発揮させるとすれば、片手操作が可能で入力装置のマイクも含めて使い勝手をよくすることが重要で、当然、使用バッテリーも含めた小型・軽量のテープレコーダーということになる。1968年、ソニーはマイク内蔵で口述録音に適し、片手操作が可能なTC-50(図6.12)というオリジナルな形状のテープレコーダーを発売した。この機種はコンパクト・カセット機の小型化に一つの方向性を示した機種ととらえることもでき、マイク内蔵による優れた操作性や機動性が注目されて、アポロ10号の乗組員によって宇宙船内で使われることとなり、大いに注目された(図6.14)。この種の小型テープレコーダーは取材用機材や口述録音などのビジネス用、および会話練習やおけいこ事など教育・学習用が主なターゲット市

場と考えられていたので、高いHi-Fi性よりも小型・軽量なことと確実に動作する信頼性が重視された。またDC使用が主と考えられるので、バッテリーの寿命も重要な課題であり、消費電力低減については真っ先に目が向けられた製品カテゴリーでもあった。

TC-50のコンセプトは後継機に引き継がれ、アンチローリング機構やオートシャットオフなど機構系の機能・性能の向上と、ボタン式操作系の採用による操作性改良などを加えたTC-1000(1972年)を経て、1978年にはコアレスモーターを搭載した完成形ともいえるTCM-100(図6.13)へと発展していった。このTCM-100は初代「ウォークマン」の母体となった機種でもある。



図 6.12 ソニー TC-50 (1968年)<sup>12)</sup>

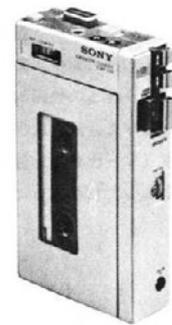


図 6.13 TCM-100 (1978年)<sup>13)</sup>  
「プレスマン」



図 6.14 アポロ宇宙船内のTC-50

## 6.10 カップブックサイズ テープレコーダー

TC-50 に代表される超小型ハンディータイプのテープレコーダーは、取材用など業務用として使われることが多くなっていったが、家庭用の標準的なテープレコーダーも、ビジネス用途までを意識した商品企画が提案され、機能・性能に加えてデスク上での使用や鞆への収納性などを重視して、小型化、特に薄型化に注目が集まるようになった。薄型化はテープレコーダー技術者にとって実現したい一つの夢でもあったし、70年代に入るところからの部品メーカーの急速な技術力向上による機構部品の高精度化も相まって、従来にない薄型メカニズムの機構設計が可能となってきた。1975年、ソニーから厚さ29.5mmという画期的な薄さを実現したTC-1100が発売される(図6.15)。この機種は厚さだけでなく、平面サイズも新書として有名であったカップブックとほぼ同じ大きさに抑え、非常にスマートな印象を与えるデザインで、ビジネス用から家庭用までの幅広い支持を得てヒットした。単品のコンパクト・カセット式テープレコーダーは、TC-50から発展してヘッドホン・ステレオにつながっていくハンディータイプと、TC-1100に代表される薄型機がほぼ最終形態となったといっても過言ではない。このTC-1100シリーズはほぼ同じサイズでラジオ付き複合機や、デザイン的に優れた後継機種などを生み出し、家庭用、ビジネス用のエリアで長らく一般的なテープレコーダーの主力機として活躍した。後継機の一つであるTCM-280のメカニズムを図6.16に示す。レバーなどの機構部品には薄さと強度の両立を狙ってステンレス鋼板が多用され、モーターは薄型のブラシ付直流モーターであるが、逆起電圧を利用したサーボ制御を採用している。消去ヘッドは消費電流低減のため永久磁石型の直流消去ヘッド、録再ヘッドは標準的なサイズのパーマロイヘッドが採用されている(図6.17)。



図 6.15 ソニー TC-1100 (1975年)<sup>14)</sup>  
カップブックサイズの1号機

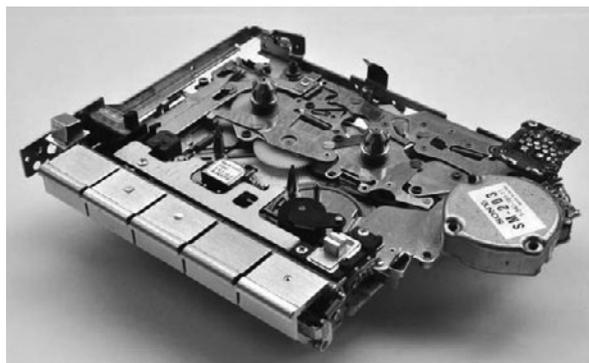


図 6.16 TCM-280 メカニズム

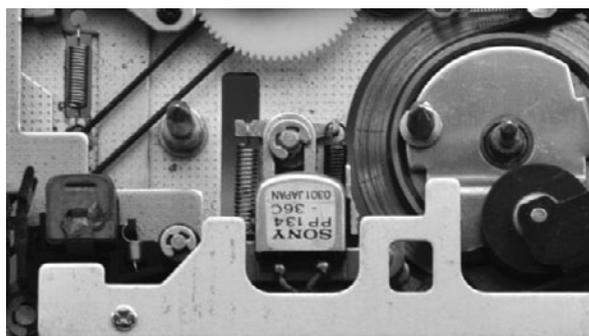


図 6.17 TCM-280 消去ヘッド、録再ヘッド

## 6.11 カセット・デンスケと生録ブーム

日本でのコンパクト・カセット登場から8年後の1973年、Hi-FIデッキの一種であるTC-2850SD(図5.12)というポータブル機がソニーから発売された。この機種は乾電池で動作するポータブル機であるが、高品位なマイクアンプを装備し、ドルビー・ノイズリダクションと高音質録再アンプを備えた、本格的なデッキの性能を持つテープレコーダーであった。その機能・性能はポータブル型コンパクト・カセット機として抜きん出ているため、可搬型の業務用テープレコーダーの愛称を引き継ぎ、「カセットデンスケ」と呼ばれるようになった。この機種の登場は「表に飛び出すデッキメカ」というサブキャッチとともに「生録ブーム」を引き起こし、コンパクト・カセットの音質と可能性をユーザーと業界関係者に確信させる役割を果たした。TC-2850SDは高性能な機種であるが、メカニズムは当時の標準的な形状のものを採用しており、アンプ部も含めて小型化に特化するよりも高い録音品質と安定した性能確保が重視されている。この機種の成功を受けて同様なコンパクト・カセットの高性能ポータブル録音機がいくつも登場するが、5年後の1978年になって、小型軽量と高性能を両立させた

TC-D5 (図 6.18) がソニーから発売された。「生録ブーム」そのものは既に下火になっていたが、小型で精悍なデザインと優れた基本性能は高く評価され、ハイエンド・アマチュアからプロまで、録音品質を重視するユーザー層に受け入れられロングセラー機となった。TC-D5では小型ポータブル機の泣き所であったテープ駆動機構の要であるキャプスタンの回転精度を上げ、外乱による回転の乱れも防ぐ手法として「ディスクドライブ方式」と呼ぶ駆動方式を採用した。キャプスタンと同軸のフライホイールに周波数発電機を備えて回転検出を行い、小型コアレスモーターで直接フライホイールを駆動するリムドライブが基本構成だが、モーター振動を遮断しつつきちんと駆動力を伝えるために、モーター・プリー部とフライホイールの接触部の材質や接触圧力などに、細かい工夫が凝らされている (図 6.19)。



図 6.18 ソニー TC-D5 < ¥99,800 > (1978年)<sup>15)</sup>

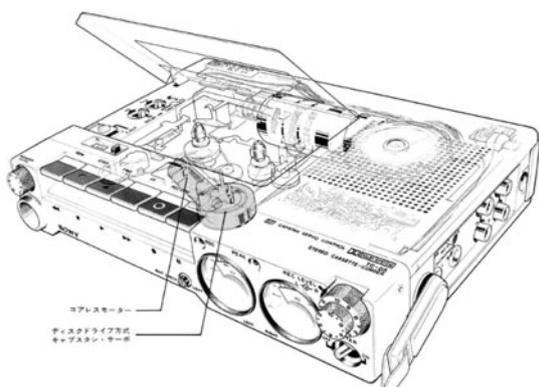


図 6.19 TC-D5 駆動部斜視図<sup>16)</sup>

## 6.12 その他のカートリッジ式テープレコーダー

初期のコンパクト・カセットは音楽録音用としては性能不足と考えられたが、日本の音響機器メーカー

は、テープ・ヘッドの改善、機構部とモーターを含む駆動系の改善など、厳しい規格の中で性能向上への努力を精力的に続け、オーディオ機器として十分に通用する優れたカセット・デッキを市場に送り出していった。このような開発競争を通して徐々に自信を深めた音響機器業界は、日本独自の新規格を策定するまでにいった。

### (1) マイクロ・カセット

コンパクト・カセットの約1/4サイズの小型カートリッジを使うテープレコーダー。テープ幅はコンパクト・カセットと同じ3.81mm、テープ速度は2.4cm/sと1.2cm/sである。1969年にオリンパスが独自規格としてパールコーダーの名称で発売したが、1974年にオリンパス、ソニー、松下の3社によって標準規格化され、メモ用小型レコーダーが各社から発売された。小ささを特長としてある程度普及したが、コンパクト・カセットのような幅広い用途で使われるまでには広まらなかった。

### (2) エルカセット

1976年、ソニー、松下、テアックの3社がオープンリール並みの音質とコンパクト・カセットの使いやすさを兼ね備えたテープレコーダーとして共同開発し発表した規格。テープ幅はオープンリールと同じ6.3mm、テープ速度は9.5cm/sで、A6版サイズのカートリッジを採用しテープを引き出して使う仕様だった。開発3社から商品が発売されたが、広く普及することはなく、程なく市場から姿を消していった。

上記はいずれもコンパクト・カセットでは満足できないところを狙った、日本発の新規格の挑戦であったが、コンパクト・カセット機器の進化は早く、また数量の急拡大によるコストの低下もあって、新たな規格で欠点を補うだけの必要性や市場性は相対的に小さくなり、新規格は広く普及することはなかった。しかし、国際的な標準規格の策定という実績は、その後のデジタル化の時代に日本が世界をリードするための貴重な経験にもなったのである。

### 引用

- 1) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、1986年12月、p.483
- 2) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.57
- 3) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、

- 1986年12月、p.498
- 4) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、1986年12月、p.499
  - 5) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.88
  - 6) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.89
  - 7) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、1986年12月、p.500
  - 8) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、1986年12月、p.503
  - 9) パナソニック株式会社 提供
  - 10), 11), 12), 13), 14), 15), 16) ソニー株式会社 提供

# 7 | コンパクト・カセット式テープレコーダーの構成と性能

## 7.1 ヘッド配置によるカセット式テープレコーダーの種類

コンパクトカセットはいわゆるメモ用録音機が出发点であり、当初、性能や機能は限定的なものと考えられていたが、規格競争が決着しコンパクトカセットが標準化されたフォーマットとして認知されるにつれ、高性能化・高機能化への開発が加速する。もともとは消去ヘッドと録音・再生ヘッドによる2ヘッド構成のみが想定されていたカートリッジ形状であるが、さまざまなヘッド形状が考案され、結果として自由度が大

きかったオープンリール時代に実現された形式が、コンパクトカセットにおいても実現された。図7.1にコンパクト・カセット式テープレコーダーの各種方式を示した。

## 7.2 基本構成

テープレコーダーの基本構成を図7.2に示す。入力信号は適切に増幅された後、録音イコライザを通り、バイアス信号が重畳されて録音ヘッドの巻線に印加される。テープは一定速度でヘッド（図7.3）の前面を

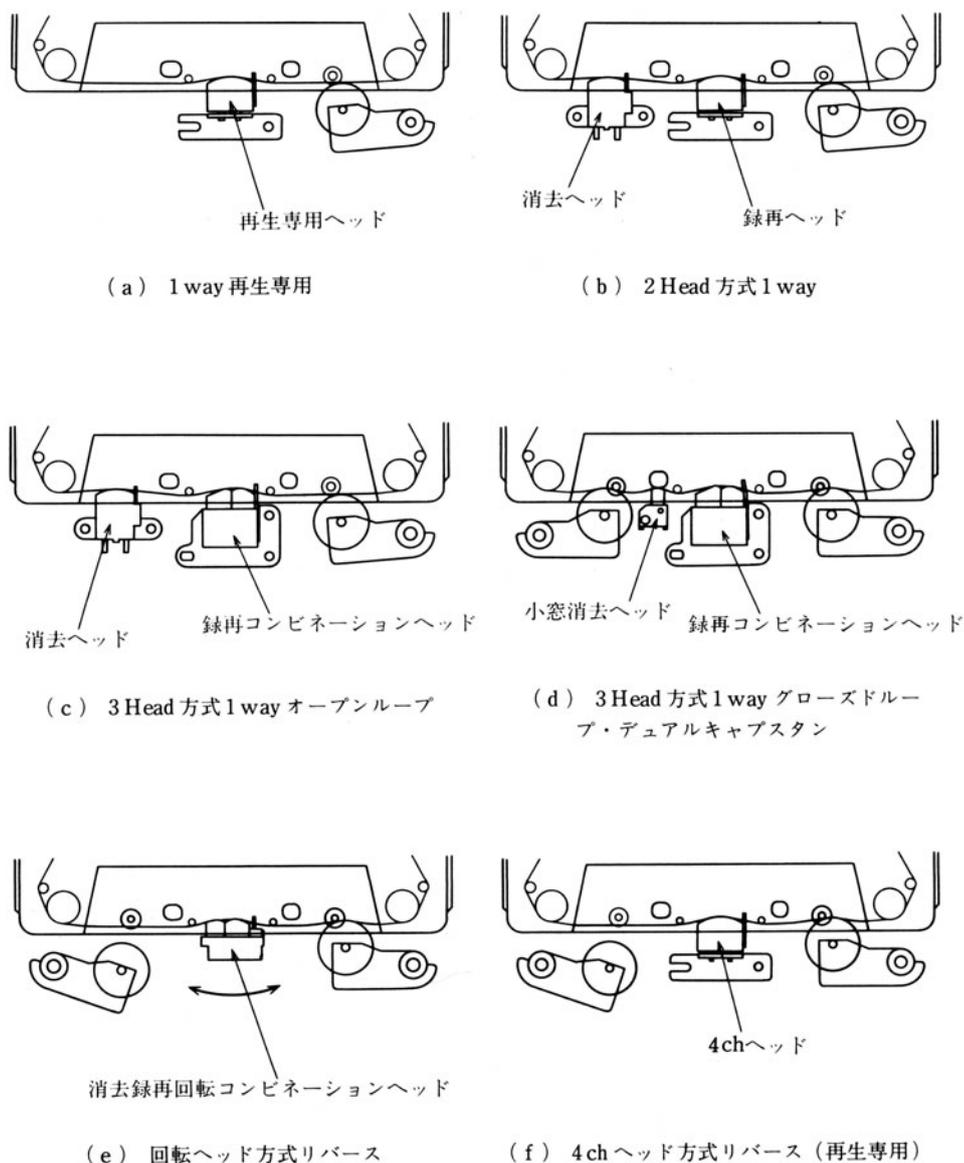


図7.1 コンパクトカセット式テープレコーダーの形式とヘッド配置<sup>1)</sup>

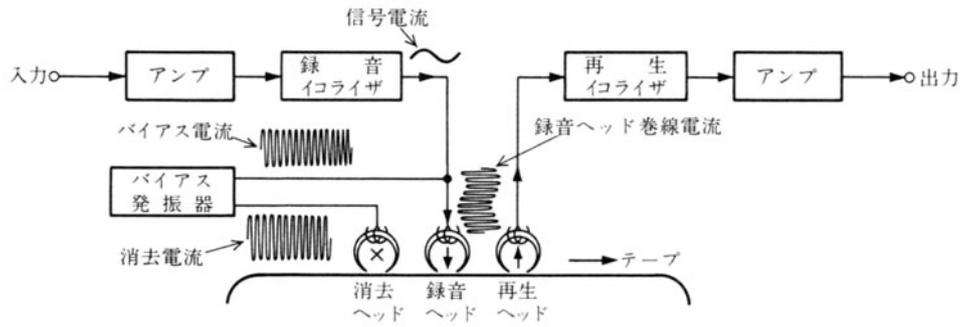


図 7.2 テープレコーダー基本構成図<sup>2)</sup>

移動していくので、この結果、録音ヘッドのギャップ部から漏れる磁界の強さに比例して磁化され、記録（録音）が行われる。この記録された部分を巻き戻し、同じ速度で再生ヘッドを通過させると、テープ上の磁束がギャップを通してヘッドに流れ、この結果巻線にはテープ上の磁化に比例した電流が誘起される。この信号を再生イコライザおよび再生増幅器を通して取り出すことで再生が行われる。

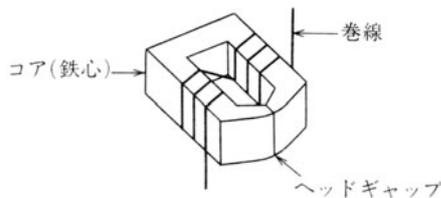


図 7.3 磁気ヘッド原理図<sup>3)</sup>

### 7.3 録音の仕組み

テープの磁化曲線は直線ではなく、いわゆるヒステリシスを持った曲線である。ヘッド巻線に交流電流を流すと、ギャップに接しているテープの磁化は、磁界Hの変化に応じてヒステリシス・ループを描いて変化する。次にテープを走行させると、テープ上のある一点が受ける磁界はギャップを通過した後0になるが、加えた交流電流（記録信号）の周波数が高い場合にはこの間に磁界が反転しながら0になる。このため小さなループを描きながら残留磁化に至ることになるが、初期磁化曲線が非直線なので記録された磁化の波形はひずみの大きなものになる。そこで信号電流よりも高い周波数の正弦波を加えて録音ヘッドに流し、このひずみを回避する手法が交流バイアス記録であり、アナログ式テープレコーダーにおいては良好な電磁変換特性の確保に必須の技術である（3.6参照）。

### 7.4 録音時の損失

録音ヘッドでの損失（信号の減衰）は、周波数が高くなるほど大きくなる傾向を示し、図 7.4 のように表される。自己減磁損失とはテープ上の記録波長が短くなるほど、隣接する磁束が互いに打ち消すことをいう。録音減磁損失は周波数が高くなるほど大きくなり、非常に高い周波数になると交流バイアスと同じようにマイナーループは0に収斂し何も記録されなくなる。浸透損失とはテープの厚み方向で磁界の分布が異なっており、磁化が表面と深層部で異なるために生じる損失である。コア損失はヘッドコアに生じる渦電流による損失である。録音スペーシング損失はテープとヘッドギャップ間のすき間ができる生じる損失であるが、再生に比べると録音スペーシング損失の影響は小さいともいえる。

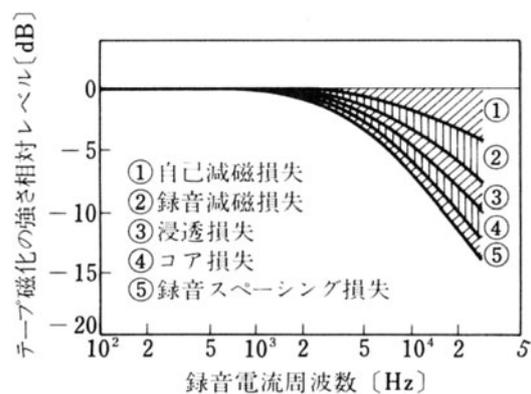


図 7.4 録音時の損失<sup>4)</sup>

### 7.5 再生時の損失

理想的な再生ヘッドは、周波数に比例して出力レベルが増加するが、実際にテープを再生するとさまざま

な損失が発生する (図 7.5)。ギャップ損失とはギャップ幅による損失で、記録波長がギャップ幅に等しくなると出力は 0 になる。再生スペーシング損失は再生ヘッドのギャップ部とテープの間のすき間による損失で、テープの表面性や走行性能、テープテンションなどが原因する。アジマス損失は記録された信号のアジマス角 (録音ヘッドギャップとテープとの相対位置関係で決まる) に対して、再生ヘッドギャップの傾きが生じることで起こる。このスペーシング損失とアジマス損失はテープ走行系を含めたテープレコーダー機構の心臓部の精度によるところが大きく、メカニズムの設計上、特に留意する必要がある。特にコンパクトカセットではヘッド配置が限られるので、リバース機や 3ヘッド機などでは、アジマス精度の維持が難しい。また、カセット内のパッドに頼らないヘッド配置 (小窓に挿入するヘッドなど) では、ヘッドとテープの密着性 (当たり) がうまく取れず、スペーシングロスが発生させやすい。厚み損失とは再生に有効な磁化の深さに起因する損失である。

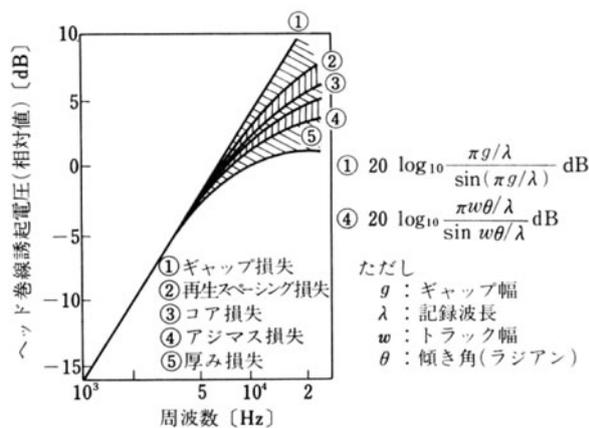


図 7.5 再生時の損失<sup>5)</sup>

## 7.6 再生イコライザ

再生ヘッドの出力は磁束の変化の早さに比例するが、高い周波数域ではいろいろな損失が顕著になってくる、という特性がある。この特性を踏まえて、テ-

プレコーダーでは損失が無視できる程度に小さい中低域と、無視できない高域に分けて再生補償 (イコライジング) をして平坦な周波数特性を得ようとしている。ただし機械ごとに独自の補償をしたのでは互換性が失われてしまうので、かなり早い段階から規格化が進められてきており、コンパクトカセットにおいてもテープのタイプ別に再生イコライザが決められている。低域まで補償を伸ばすのはゲインの上昇によるノイズの増加が著しくなるため、低域時定数以下はフラットにしてある (図 7.6)。

IEC タイプナンバー	時定数 [μs]		折れ曲がり周波数 [Hz]	
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>
I (ノーマルテープ)	3180	120	50	1326
II (クロムテープ)		70		2274
III (フェリクロムテープ)				
IV (メタルテープ)				

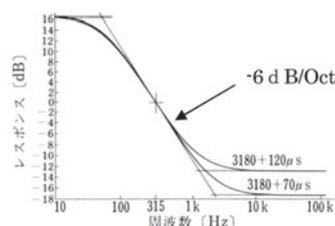


図 7.6 コンパクト・カセットの再生イコライザ<sup>6)</sup>

## 引用

- 1) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.158
- 2) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.146
- 3) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.146
- 4) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.150
- 5) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.151
- 6) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.153

# 8 | コンパクト・カセットにおける磁気テープ

## 8.1 磁性体の進歩

酸化鉄から出発した磁気テープは、録音性能の向上という基本的な命題を追求すべく開発が続けられたが、オープンリールと違って、コンパクト・カセットというテープレコーダーシステムでは、テープ幅やテープ速度、またヘッド形状などの自由度は非常に限られており、また、厳密な互換性維持が課されていたので、磁気テープそのものの性能向上がより強く求められることとなった。音楽録音用としては初期のコンパクト・カセットの性能は見劣りのするものであり、万能型テープレコーダーとして会話録音から音楽録音までカバーできるようにするため、磁性体の開発が急がれた。

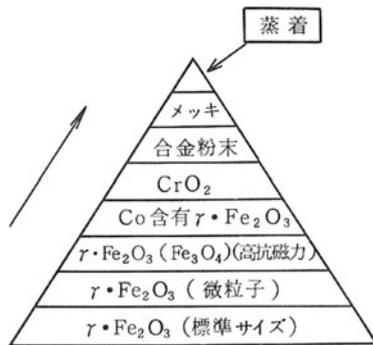


図 8.1 テープ磁性体の進歩予測<sup>1)</sup>

図 8.1 は 1970 年代に提唱された、テープ磁性体の進歩を予測を含めて表したチャートである。まずは酸化鉄磁性粉の改良・改善が進められ、微粒子化による充填率の増加や、表面粗度の向上によるヘッドとの密着性の改善など、テープおよび磁性体の物理的な改良が試みられた。並行して磁性粉をテープに塗布する工程、磁性粉と配合される接着剤や添加物などいわゆるバインダーの改良も進んだ。さらにはテープ切断機（スリッター）の改良による機械的精度の向上なども進められ、オープンリールに比してより繊細で高精度なテープが製造工程を含めて作れるようになっていった。しかし、小型化と使い勝手の良さ、という商品としての重要な要素を維持するために、純粋な記録性能の追求は非常に限られた条件下で行われなければならず、結果としてテープ性能の向上のために磁性材料そのものの改善・開発に力が注がれ、実用化を促進して

いくこととなった。互換性確保というコンパクト・カセットのフィロソフィーは、ユーザーにとって使いやすい小型軽量のテープレコーダーを提供する、という商品的な進歩を促しただけではなく、限定的な条件下での性能向上のために、技術的な進化を強制的に促すという役割も果たし、コンパクト・カセットシステムの発展を決定的なものにする原動力になった。

## 8.2 クロミテープの開発

こうした中、1970 年に BASF から二酸化クロム磁性体を使った「クロミテープ」が発売され、酸化鉄テープでは達成できなかった高域特性の大幅な改善が可能となった。このときまでコンパクト・カセットの再生イコライザ時定数は  $120 \mu\text{s}$  であったが、このクロミテープの出現によって  $70 \mu\text{s}$  が採用されることとなり、高性能テープの高域補償特性はこの値で標準化されていくこととなった。BASF のクロミテープに続いて、日本のメーカーからも二酸化クロムのテープが発売され、1973 年にはソニーから酸化鉄とクロムを 2 層塗りした「DUAD テープ」が発売された。これはクロミテープの弱点であった中低域のエネルギー不足（感度不足といっても良い）を、酸化鉄の層で補い、クロムの高域特性の良さと両立させて高性能テープとしたものである。このタイプは TYPE-III として標準化されたが、大きく普及することはない、1980 年代に入るところには廃れていった。音質的には高い評価を受け、オープンリール用テープにも採用された 2 層塗りテープであったが、コンパクトテープなど TYPE-II テープの高性能化と価格競争力に押され、またメタルテープの出現によってその存在意義が薄れ、TYPE-III という規格だけを残して製品は市場からフェードアウトしていった。

クロミテープは画期的な高域特性を示し、コンパクト・カセットの性能向上に大きな足跡を残したが、国内ではメッキ工場の六価クロム廃液による公害問題や、パテントライセンス問題などもあって次第に姿を消していった。それに代わってほぼ同じ特性のコバルト被着酸化鉄磁性体 ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ; 酸化鉄の表層にコバルトフェライトが結晶成長したもの) を使ったテープが高性能音楽用テープの主流になり、TYPE-II テープはほとんどこのタイプ、いわゆる「コバルトテープ」になっていった。

### 8.3 メタルテープの登場

1960年代後半からステレオレコードの普及、FM放送の本格化などが進み、オーディオ市場を活性化させるとともに、輸出産業として日本のオーディオ業界は大きな発展期を迎えた。この流れを支えた大きな要素がコンパクト・カセット機器であったが、オーディオ市場の広がりに伴ってコンパクト・カセットの音質向上の要望が一段と強くなっていった。規格厳守が求められる以上、テープの磁気特性向上が必須となり、従来は研究室ベースで取り上げられていた高性能磁性体の製品化が一気に加速する。まず酸化クロムが実用化され、コバルト系がその発展形として定着するが、究極のテープとして考えられていたメタルテープ（金属粉末型テープ）も実用化へと向かうこととなる。1963年ころには、東北大学において永井、岩崎らが既に短波長記録用テープとして研究成果を報告しており、理論的には優れた特性が認められていたものの、製造上の困難さ等の解決を後押しする、明確なニーズが存在しなかった。もともとビデオ用を考慮して進んでいたメタルテープの開発は、コンパクト・カセットの高性能化という明快なニーズによって実用化が達成された。

メタルテープといっても塗布型テープの一種であり、後述する蒸着テープのような全く新しい構成のものではなく、従来の酸化鉄テープとよく似た構造である。ただし使われている磁性粉が金属（鉄）微粒子であり、酸化鉄に比べると酸素原子がない分、磁性に寄与する金属の密度が上がり、優れた磁性体となるわけであるが、この磁性粉は当然ながら非常に酸化しやすい。テープの製造工程も含めてこの酸化対策、つまり錆を防ぐ方法が、金属微粒子の製法と並んで重要な開発要素であったが、バインダー材料の工夫や磁性粒子自体に防錆効果を持たせる方法など、各社で解決が図られていった。実際の製品化においては、保持力が高いので従来機器での消去、録音ができないなど、互換性を阻害することが議論的となったが、音質改善への欲求がそれらの懸念を上回り、TYPE-IVとして新たな標準規格が策定されることとなり、コンパクト・カセットテープの最終進化形として定着した。このメタルテープの開発はオーディオ用途のみならず、その後のテープ式小型ビデオテープレコーダーの性能向上、小型化、さらにはデジタル化へと続くオーディオ、ビデオ機器の進化に大きな貢献を果たしたのである。

### 8.4 蒸着テープの実用化

同時期、松下がもう一つの夢のテープとされてきた金属薄膜テープを実用化した。金属薄膜テープは、塗布型テープでは必須のバインダーが存在せず、理想のテープと考えられてきたが、テープという形を実現するためには新たな製造方法の開発が必要であり、松下において開発された方法は真空蒸着法であった。これはフィルムコンデンサの電極製作に用いられていた真空蒸着法を発展させたもので、連続でベース上に蒸着薄膜を形成するものであった（図8.2）。

蒸着テープは優れた磁気特性を有する反面、テープレコーダー用テープとして使う場合にいくつかの弱点も持っている。塗布型に比べて表面が非常に平滑にできるためヘッドとの密着性は良いが、逆にヘッドやテープガイドなどとの摩擦が大きくなりすぎることが予想され、適切な潤滑性を持たせる必要がある。磁性層が薄いので耐食性の高いニッケルやコバルトなどの蒸着膜でも磁性層の劣化には注意が必要となる。このような種々のハードルをクリアし1978年にまずマイクロカセット用テープとして蒸着テープ「オングローム」が誕生した。1984年にはTYPE-IIポジション用としてオングロームのコンパクト・カセットが発売されている。この蒸着テープはメタルと同様、その後のビデオへの応用が進められていくが、高密度記録に適した特性を生かして、オーディオ、ビデオのデジタル化時代に重要なテープとなっていったのである。

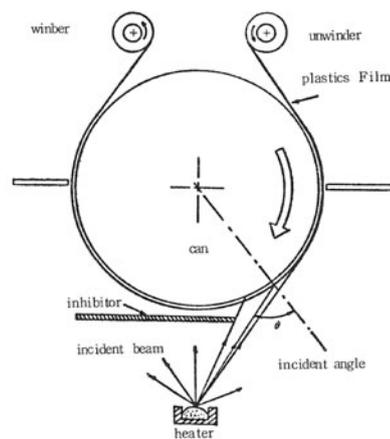


図 8.2 真空蒸着装置の一例<sup>2)</sup>

#### 引用

- 1) 「磁気記録技術 第3巻」 日本工業技術センター、1980年5月、p.87
- 2) 「磁気記録技術 第3巻」 日本工業技術センター、1980年5月、p.89

# 9 | コンパクト・カセット用磁気ヘッドの進歩

## 9.1 記録・再生ヘッドの構造

テープレコーダーに使われる磁気ヘッドは、コアと呼ばれる鉄心にコイルを巻いて作った「磁気回路」の一部を切り欠いた構造をしている。このギャップと呼ばれる切り欠き部を通して磁界をテープに与え、磁気記録を行う。再生時にはテープ上の磁束をギャップを通して拾い、コイルに誘起される電流を増幅することによって再生が行われる（図9.1参照）。コアの材料は微小な磁気の変化に敏感であることが必要であり、また記録時には磁気回路の効率を高めるため、高い透磁率が求められるので、初期のヘッドではパーマロイが用いられることが多かった。パーマロイとは高い透磁率を求めて作られた鉄とニッケルの合金である。磁気ヘッドは巻線を持つコイルであり、周波数に比例してインピーダンスは高くなる。このため周波数が高くなるほど渦電流による損失、「コア損失」が増えることになる。このコア損失を減らすためにパーマロイの薄板を数枚積層したラミネート構造が使われている（図9.2）。また磁束のやり取りが効率的に行えるよう、ギャップ付近で磁気回路が狭くなるよう設計されている。ヘッド前面のテープと接触するところは摺動面と呼ばれ、テープとの接触が常に生じているため耐摩耗性が重要になるのに加え、テープ走行に悪影響を与えぬよう、スムーズな摩擦特性が要求される。実際のヘッドではトラック間のシールド板（ステレオ用など複数トラックヘッドの場合）や、トラックのないダミー部、およびそれらを支持する樹脂材などで摺動面が構成されており、これら異なる材料が均等に摩耗しないと、テープとの接触状態が悪くなり、スペーシングロスが発生することになる。このためそれぞれの材料の選択と、最終的な研磨による摺動面の仕上げには、ヘッド製造を手がけた各社がさまざまな工夫を凝らしてきた。

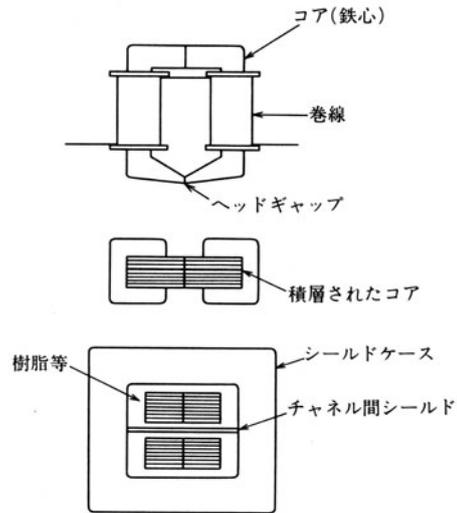


図9.1 一般的な磁気ヘッドの構造<sup>1)</sup>

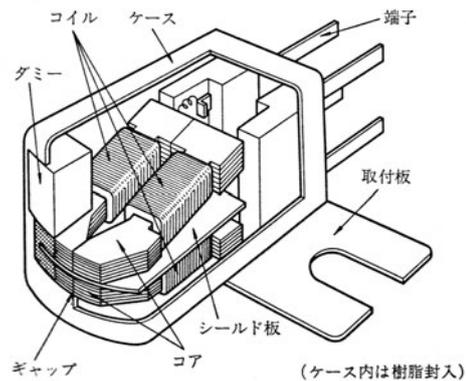


図9.2 ラミネートヘッドの構造<sup>2)</sup>

## 9.2 ヘッドの種類と性質

### (1) 録音ヘッド

少ない電流で効率よく大きな磁界を発生し、テープをきちんと磁化することが目的であるが、テープ厚み方向の録音効率を上げて、ギャップ部分での磁気飽和を避けるため、やや広めの3~5  $\mu\text{m}$ 程度のギャップに設定する。インピーダンスはバイアス電流を供給する電気回路を考慮して1kHzで10  $\Omega$ 位に設計されている。

### (2) 再生ヘッド

できるだけ高い周波数まで再生することを目的に、ギャップ損失を減らすことが優先される。このため録音ヘッドに比べるとはるかに狭い1.0  $\mu\text{m}$ 程度の

ギャップが選ばれる。再生出力をできるだけ高くする(感度を上げる)ために巻き数を増やすので、インピーダンスは自動的に高くなり、1kHzで1kΩ位になる。また、再生ヘッドは感度が高い上に再生アンプに直結していることもあり、雑音発生を防ぐため、外部からの磁気誘導を防ぐ嚴重な磁気シールドが求められる。

### (3) 録音・再生兼用ヘッド

コンパクト・カセット型テープレコーダーの基本構成である「2ヘッド型」のテープレコーダーでは、録音時と再生時で同じヘッドを使い、機器の簡素化と低価格化を図っている。この録再ヘッドでは、上に述べた録音時の磁気飽和と再生時のギャップ損失の両立を考慮して、1.3~1.6 μm位のギャップ長が選ばれることが多い。録音、再生それぞれに最適なパラメータを持っていないので、性能的には単独の録音、再生ヘッドを用いる「3ヘッド型」には及ばないが、コンパクト・カセットの磁性体が酸化鉄テープにとどまっている間は、十分ハイエンドの性能をカバーしていた。

### (4) 消去ヘッド

交流消去を行う消去ヘッドでは、大きな磁界を発生させるため渦電流による発熱が少ないフェライト材が使われることが多い。メタルテープが登場したときには、消去ヘッドもより高い磁界発生が求められ、センダスト消去ヘッドも実現されたが、コスト的には厳しく、フェライト材の改良やギャップ数を増やすなどの工夫が凝らされた(図9.3)。また価格を抑えた普及機では、メタルテープのような高性能テープの使用は考えなくてもよいので、永久磁石を使った消去ヘッドでDC消去方式をとることが多い。この場合、単純な磁石を使うだけではなく、ヘッド表面をN-S-N-S-というように磁化させて、テープが走るとあたかもAC消去のような効果を狙っているものもある。ラジカセのような複合商品では、大きな磁界による受信障害を避けたいということもあり、永久磁石型の消去ヘッドが採用されることが多かった(図9.4)。

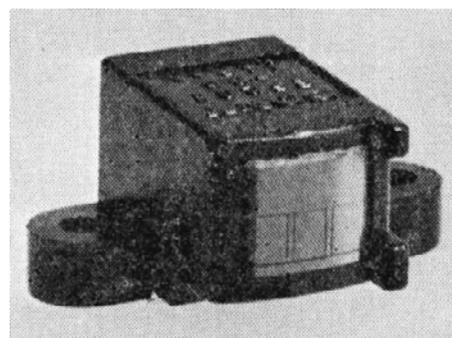


図9.3 4ギャップ・フェライト消去ヘッド<sup>3)</sup>

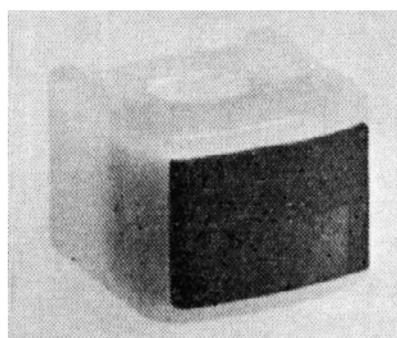


図9.4 永久磁石型消去ヘッド<sup>4)</sup>

## 9.3 磁気ヘッド材料の進化

### 9.3.1 フェライト・ヘッド

コンパクト・カセットはまず酸化鉄テープから始まったが、広くユーザーに受け入れられていくに従い、狭いトラック幅と遅いテープスピードからくる音質性能への不満解決が大きな課題となってきた。1960年代も後半になると、音楽媒体としての地位を確立したステレオレコードは、録音技術やカッティング技術等の改善により音質面でも非常に優れたものへと進化しており、民生用録音機の音質改善が強く求められるようになってきた。オープンリール型はスタジオ録音機など高性能機の開発は続けられていたものの、アナログ録音を追及するためますます重装備で高価なものになってしまい、ホームオーディオやカーオーディオの市場では、小型で手ごろなコンパクト・カセットに音楽用録再機としての性能が求められるようになってきたのは当然の成り行きであった。そこで8.2で述べたようにテープ磁性体の改良が追及され、1970年にクロミテープが誕生する。このテープは広域特性に優れ、従来、10kHz位までであった録再帯域を、Hi-Fiと呼んで恥ずかしくない15kHz辺りまで引き上げることに成功する。互換性に関しては高域感度の上昇に

合わせるべく、高域の再生時定数が  $120\mu\text{s}$  から  $70\mu\text{s}$  に変更されたクロミポジション（後の TYPE-II）が定義された。クロミテープは録再性能を高め、コンパクト・カセットをオーディオ機器の一員と認知させることに大きな貢献を果たしたが、テープの表面は酸化鉄に比べて固く、ヘッドの摩耗が大きな問題になってきた。これを解決するために耐摩耗特性に優れたフェライトヘッドが登場した（図 9.5）。フェライトは粉末を圧縮成型する方法で作れるので加工コストが比較的安く、焼結後の硬いコア材でも研磨・切断などの加工が容易で寸法精度を出しやすい。フェライトヘッドは硬度が高くて摩耗に強い、という特徴に加えて、ギャップは研磨されたコア材の間をガラス融着して形成されているので寸法安定性に優れ、長期間、初期特性を維持することができるとともに、温度・湿度の変化にも極めて安定である（図 9.6）。

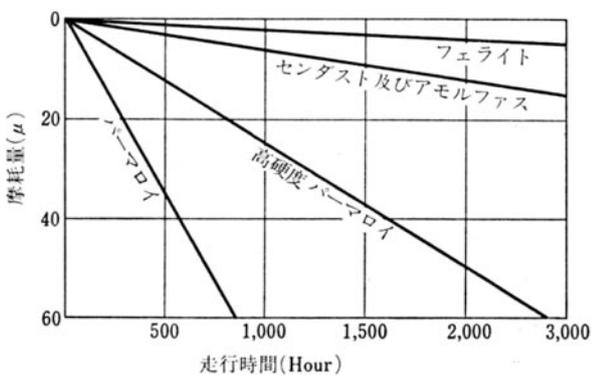


図 9.5 ヘッド材質による摩耗特性<sup>5)</sup>

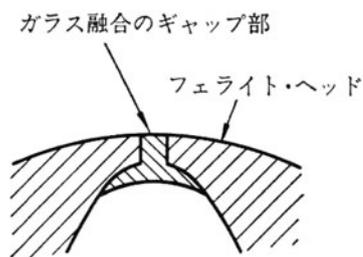


図 9.6 フェライト・ヘッドのギャップ部構造<sup>6)</sup>

ソニーはオープンリールでもフェライトヘッドを早くから採用していたが、コア材だけでなくダミー部も含めたヘッドの摺動面全体をフェライトで構成し、耐摩耗性と耐環境性を高めたヘッドを「F&Fヘッド」（図 9.7）と称して、コンパクト・カセットにも広く採用していった。

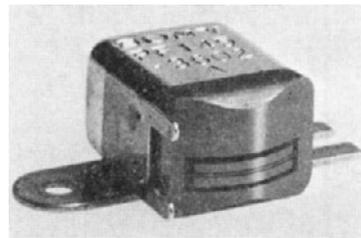


図 9.7 F&Fヘッド<sup>7)</sup>

### 9.3.2 メタルテープに対応したセンダスト・ヘッド

デジタルオーディオ時代が視野に入ってきた 1978 年にメタルテープが登場する。このテープは、コンピューター・ミュージックのような高い分解能と大きなダイナミックレンジが必要な音源も記録再生できる、コンパクト・カセット用音楽テープの切り札として登場した。酸化物ではない金属粉末を磁性粉とするメタルテープは、画期的な性能を秘めた優れた磁気特性を有することは原理的に分かっていたが、コンパクト・カセットの「互換性堅持」というポリシーと反するものであった。

メタルテープを一言でいえば「強い磁石」を磁性体として使うテープである。磁気特性を表す保持力（飽和磁束密度） $H_c$  と最大残留磁化  $B_r$  で比較すると、従来の音楽用テープとされたクロム（コバルト）系では、 $H_c=600\sim 700\text{Oe}$ 、 $B_r=1500\text{G}$  くらいであるが、メタルテープでは  $H_c=1000\text{Oe}$ 、 $B_r=3000\text{G}$  と約 2 倍の値である。 $H_c$  は高域の記録レベル（高域特性の良否）を表すが、同時に消去のしやすさ、すなわち磁化に必要な磁界の強さを表す。コンパクト・カセットで最初に使われた酸化鉄テープでは、 $H_c=350\sim 400\text{Oe}$  であり、クロミテープはこれより大きかったが、従来のヘッドで十分に消去、記録は可能であった。ところが  $H_c=1000\text{Oe}$  というメタルテープが十分な性能を発揮するよう記録するには、さらに大きな磁界を発生させねばならず、大きなバイアス電流をヘッドに流すことが必要になるが、従来のヘッド材料（パーマロイやフェライト材）では飽和磁束密度が低く、いくら電流を流しても単に熱になるだけで有効な磁束発生につながらない。消去においても同じで従来型の消去ヘッドではテープを消せない、という致命的な互換性の破綻が生じるわけである。また、再生時には高域特性の改善をより顕著にすべく、高域時定数をクロム系の  $70\mu\text{s}$  から  $50\mu\text{s}$  や  $35\mu\text{s}$  にしてはどうか、という議論も起こった。互換性や標準化にこだわっていれば技術の進歩を否定することにもつながるので、最新の技術成果は積極的に持ち込むべきである、という意

見もあったが、これではコンパクト・カセットの重要な要素である互換性がどんどん崩れていく可能性が高い。しかし最新の音楽シーンで求められる性能の向上を無視するわけにはいかず、EIAJ（現 JEITA）等が中心となって IEC 等の国際機関とも協力して国際標準を短期間でまとめ、メタルテープのコンパクト・カセットへの導入を実現した。再生時定数はクロムと同じ  $70 \mu\text{s}$  とされ、再生においては従来機器でも可能とするなど、互換性のポリシーは強く意識されたものの、記録のための新しいヘッド（高いバイアス電流でも飽和せず、発熱も抑えられる効率の良い材料および設計）は、どうしても必要となった。

フェライトは耐摩耗性に優れ、製造・加工も容易で安価な高性能ヘッドとして大量に使われたが、飽和磁束密度が  $5000\text{G}$  くらいと低く、メタルテープ用には適さなかった。ここで注目を集めたのがセンダストである（表 9.1）。センダストとは Fe、Al、Si からなる合金で、東北大学の金属材料研究所で増本量博士らが 1935 年に発明したとされ、フェライト出現前は圧粉磁心材料として使われた。磁気特性は優れており、素材も多量に存在する元素なので価格的にも有利であるが、金属（合金）としては非常に硬くて脆いため、パーマロイのような圧延は難しく用途は限定されていた。ところがメタルテープの出現に伴って一躍注目を集めるようになった。センダストの最大の欠点は加工性の悪さであり、真空溶融で作るインゴットは安価であるが、ヘッドに仕上げるためのそれ以後の研削や研磨加工に費用がかかる。ヘッドの一般的な構造は  $0.2\sim 0.3\text{mm}$  の厚さに研削・研磨したコアを用いるラミネートタイプだったが、この厚さは加工コストとのバスターであり、高周波特性にとってはより薄いものが望まれていた。高温度で溶融した合金を急冷して

薄帯を作る方法（リボンセンダスト）や圧延も試みられたが、脆弱な薄帯の扱いは難しくヘッドの大量生産には適さなかった。高周波損失を抑える方法として考えられたのが、ヘッドの先端部のみをセンダストの小ブロックで作成し、ギャップ部での高い磁界発生を実現し、それほど磁束密度が必要でない部分には高周波損失がほとんどないフェライトを使う、という複合材型の S&F ヘッド（図 9.8、9.9）である。ギャップ部はフェライトヘッドとほぼ同じ構造で作られており（図 9.10）、フェライトに匹敵するセンダストの耐摩耗性と併せて、信頼性の高い長寿命のデバイスとして歓迎された。この方式のヘッドはソニーや松下電器などが実用化し、メタルテープ以後の高性能カセット・テープレコーダーで幅広く使われることになった。

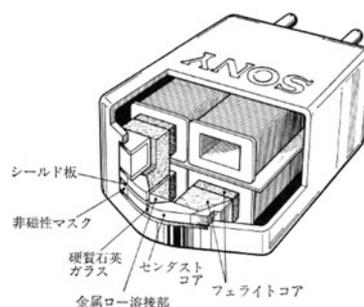


図 9.8 S&F ヘッドの構造<sup>9)</sup>

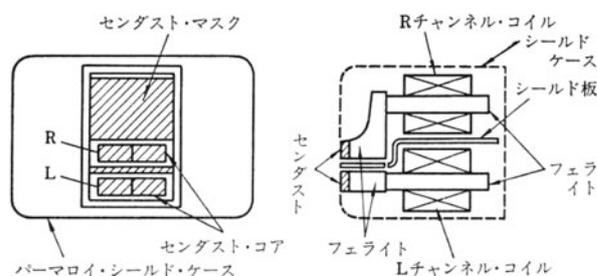


図 9.9 S&F ヘッドの磁気回路<sup>10)</sup>

表 9.1 磁気ヘッドコア材料の諸特性<sup>8)</sup>

材 料		初透磁率 $\mu_i$			磁束密度 $B_s$ (gauss)	保磁力 $H_c$ (Oe)	固有抵抗 ( $\mu\text{-}\Omega\text{-cm}$ )	硬度 (HV)	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	磁歪定数 $\lambda_s$ ( $\times 10^{-6}$ )	コア厚み ( $\mu\text{m}$ )
		1kHz	10kHz	100kHz							
フェライト	録再用	10,500	9,700	8,800	4,500	0.03	$10^6$	680	5.0	5.0	
	消去用	3,500	3,300	3,300	5,000	0.14	$10^9$	700	4.9	2.0	
パーマロイ	普及	39,000	11,700	2,000	7,800	0.012	55	110		1.5	50
	高硬度	45,000	10,000	2,100	6,600	0.013	65	200	8.7		100
	HiB	15,000	4,300	930	8,100	0.03	55	150			100
センダスト	普及	15,000	3,800	810	8,500	0.007	85	500		1.0	150
	HiB	11,800	3,200	720	10,000	0.025	85	480	6.8	1.0	150
アモルファス	HiB	20,000	9,000	3,000	11,500	0.02	140	850	8.1	0	30
	Hi $\mu$	50,000	40,000	9,000	8,000	0.012	140	850	7.7	0	30



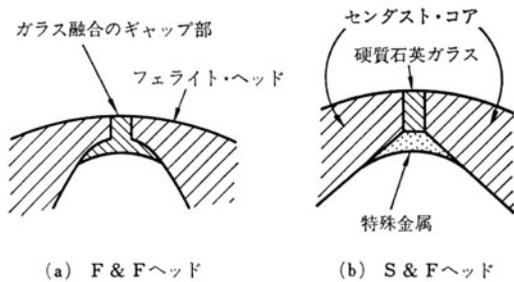


図 9.10 ギャップ部の構造比較<sup>11)</sup>

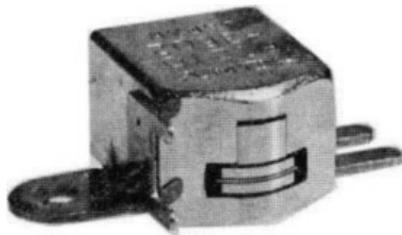


図 9.11 S&F 録再ヘッド<sup>12)</sup>  
メタル対応カセット・デッキ用ヘッド

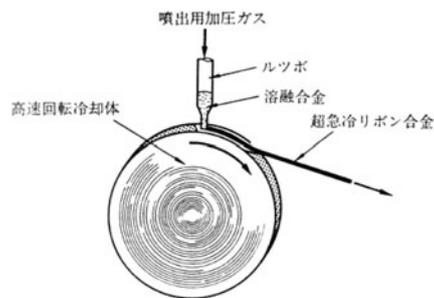


図 9.12 急冷装置の原理図<sup>13)</sup>

### 9.3.3 アモルファス合金のヘッド材料への応用

センダストはメタルテープ対応のヘッドとして大いに使われたが、オーディオ用ヘッドとして耐食性を上げるためクロムやモリブデンなどを添加しているため、本来の特性より若干低い飽和磁束密度となっていた。この特性改善を目指して添加物の種類や量の変更など、継続して検討が続けられたが、10,000G以上の飽和磁束密度を得ることは無理であった。

この限界を超えてより効率の良いヘッド材料として出てきたのがアモルファス合金である。アモルファス合金は非晶質であり、規則格子の結晶構造を持つこれまでの金属とはいろいろな面で異なる特質を持っている。金属は高温で溶融しているとき、全くランダムな原子配列をしているが、これを急冷してそのままの状態を常温でも維持させているのがアモルファス合金である。このときの冷却速度は10万~100万℃/Secといわれている。実際のアモルファス合金は、高速回転する冷却ロールの上に溶融状態の金属を細いノズルで噴出し、薄帯として作ることができる(図9.12)。この薄帯は30~50μmという、ヘッド材料にふさわしい寸法で得られるのでこれを積層してラミネートコアとすることが容易であった(図9.13)。

軟磁性体としてのアモルファス合金はFe、Co、Niの強磁性を示す金属と、非晶質化に必要なP、C、B、Siなどの半金属の組み合わせからなる。硬度はHvが

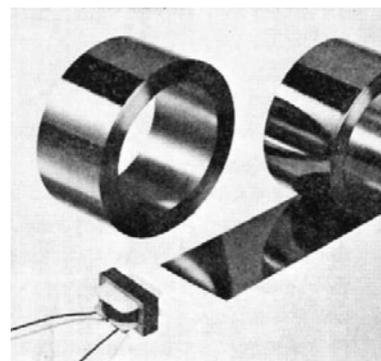


図 9.13 アモルファス合金の薄帯<sup>14)</sup>

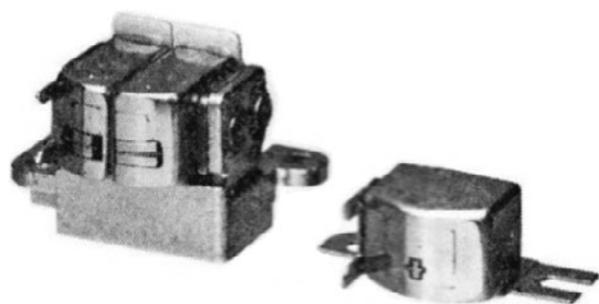


図 9.14 アモルファスヘッド<sup>15)</sup>

### 引用

- 1) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.156
- 2) ~15) 高橋四郎: 「磁気ヘッド材料の最近の動向」 JAS Journal 1981, Vol.21, No.10

# 10 | コンパクト・カセットでの3ヘッド方式開発

## 10.1 3ヘッド方式の特長

コンパクト・カセットの最も標準的な製品としては2ヘッドタイプのもが想定されており、上下対称形のカセット自体をひっくり返して装着することで両面使用に対応する、という構想である。この基本構想は使い勝手を飛躍的に高める上で非常に重要であり、テープレコーダーとして必要十分な機能を備えていたといえよう。またテープ速度、トラック幅、磁気テープ特性などの基本仕様も、想定された使用環境とユーザー層にとって十分な性能を提供するものと考えられた。当初、こうして簡単な「メモ用テープレコーダー」という位置づけであったコンパクトカセットは、デファクト・スタンダードとなることに成功し、テープレコーダーの主流となることがほぼ確実視されるようになる。高音質化・高性能化へ向けた技術開発が急激に加速された。オープンリール型のテープレコーダーで性能向上を目指す場合、テープ速度などに加えてヘッド形状と個数がかかなり自由に選択できるので、録音、再生、消去にそれぞれ最適な設計をしたヘッドを用いることが容易であり、必然的に3ヘッド型が採用されることになる。もちろんオープンリール型でも普及機では2ヘッド型が一般的であり、電池駆動の小型機では直流消去など簡易型のヘッド配置も存在したが、普及機から高級機、さらには業務用途機まで自由にヘッドが選べるというのが大きな特長であった。実際、ほとんどのステレオ・テープデッキでは3ヘッド方式が採用されていた。

3ヘッド方式は録音品質の追求という音質面での高性能化が主な目的であるが、録音中に再生ヘッドを働かせることによって、「録音同時モニター」ができることも大きな特長である。一般の2ヘッド型テープレコーダーで録音する場合、マイクまたはライン入力から入ってきた音はプリアンプ部で適切にレベル調整され、録音アンプに送られることになるが、録音時にモニターする音はこのプリアンプ出力であり「録音する音」になる。もちろん音量調整のためのレベルメーターもあるし、自動録音レベル調整機能など、簡単に良好な録音結果を得るような機能を持つものもあるが、最終的な録音結果は、録音終了後テープをいったん巻き戻して再生して確認するということになる。通常の使い方ではほとんど問題ないが、生録など非常に

貴重な録音を行う場合には、録音された結果、すなわち「録音された音」を録音時にモニターできれば、テープ、ヘッドなど基幹要素の不具合や録音レベル調整の適否が確実に判断できるので失敗を防ぐ上で効果が高い。録音同時モニターは録音と再生にそれぞれ専用ヘッドを用意する3ヘッド方式でのみ実現できる機能であり、この機能を指して「3ヘッド方式」と呼ぶこともある。いずれにしてもオープンリール式では要求性能・機能に合わせてヘッドの配置を自由に設計することができたのである。

## 10.2 コンパクト・カセットでの3ヘッド方式

コンパクト・カセットはヘッドおよびピンチローラーをカセット内に挿入することで走行系が構築され、テープレコーダーとしての機能を果たす。図10.1に典型的なコンパクト・カセット式テープレコーダーの走行系主要部を示す。ヘッドおよびピンチローラーの挿入口としてカセット前面に3カ所の大型の開口部があり、中央の開口部には、テープの後ろ側にパッドと呼ばれるフェルト状の部材が板バネによって保持されている。このパッドはヘッドが挿入されたときテープをヘッドに押し付ける働きをし、テープとヘッドの密着性を確保する。図10.2にカセット前面形状を示した。開口部は一般的に「窓」と呼ばれ、左右一対の窓はピンチローラーおよび消去ヘッドの挿入用に使われるが、対称形になっており、カセットをひっくり返して、いわゆるB面を使うときにはそれぞれの窓が逆の挿入口になるわけである。このピンチローラー用窓を大窓と呼んでいるが、ヘッド用窓と大窓との間に小型の開口部がある。ここは小窓と呼ばれ、テープの張力を利用した終端検出や、透明のリーダーテープ部（テープ巻き始めおよび巻き終わり部のこと、磁性体がない場合がほとんどである）を検出するような用途を想定して設けられているが、あまり使われることはなかった。

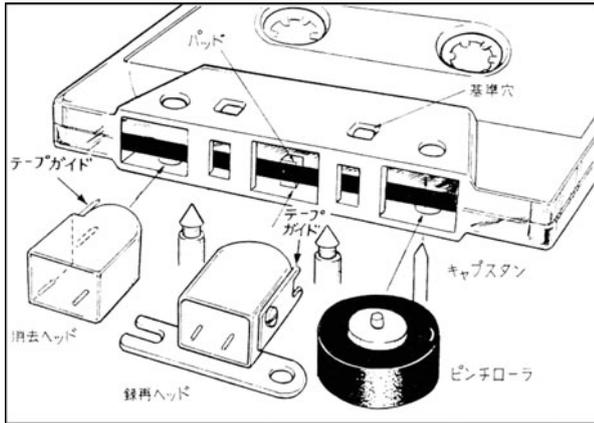


図 10.1 カセットと機構部の相対図<sup>1)</sup>

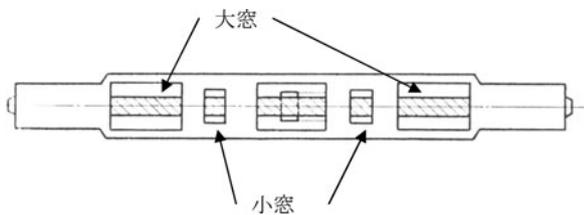
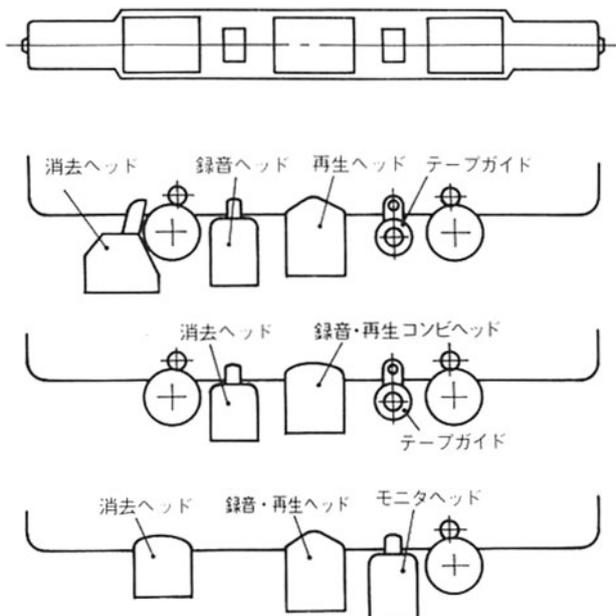


図 10.2 カセット前面開口部

このような制限の中で、どこにどのヘッドを置いてコンパクト・カセットでの3ヘッド形式を実現するかという事は難しい問題で、いろいろな案(図10.3)が各社で検討されたが、まずは独立型のヘッドによる

図10.3(1)のような方式が実現された。この方式では再生ヘッドはほぼ従来の録再ヘッドと同じものが使えるが、小窓に録音ヘッドを挿入するため録音ヘッドが小型になり性能を出しにくい。さらに小窓部にはテープパッドがなくヘッドとテープの密着性が得にくいので、クローズドループ・デュアルキャプスタンという高級な走行系を構築し、ループ内(2本のキャプスタンの間の部分)のテープテンションを確保して録音性能を保証している。消去ヘッドは上流側キャプスタンの外側に置かれるが、このヘッドもピンチローラーとの干渉を防ぐため、かなり特殊な形状をしたものになる。

この独立型3ヘッドは、ナカミチ株式会社がナカミチ1000(図10.4)という機械に初めて搭載したが、1973年の発売当時で20万円を越える価格の超高級デッキであった。ほぼ同じころ、ソニーや松下などテープレコーダー大手も同様な開発を進めており、ソニーからは1973年にTC-6150SD(図10.7、図10.8)、松下からは1975年にRS-690(図10.5、図10.6)という独立3ヘッド搭載デッキが発売され、コンパクト・カセットでもオープンリールと同等の機能を実現することを実証し、コンパクト・カセット式テープレコーダーがメモ用機から高級機まで完全にカバーできることをユーザーに確信させ、普及に弾みをつけることになった。



- (1) 独立3ヘッド方式
  - ・ヘッドの性能追求に最適
  - ・特殊な形状のヘッドが必要
- (2) コンビネーション・ヘッド方式
  - ・ヘッドの当たりは取りやすい
  - ・コンビヘッドの製作がキーポイント
- (3) モニター・ヘッド方式
  - ・録音・再生性能は2ヘッドと同等
  - ・録音同時モニター機能のみ実現

図 10.3 3ヘッドの配置案<sup>2)</sup>



図 10.4 ナカミチ 1000 (1973 年)<sup>3)</sup>  
カセットは倒立で装着する縦型



図 10.5 松下 RS-690 (1975 年)<sup>4)</sup>  
機構部とアンプ部のセパレート型



消去ヘッド      録音ヘッド      再生ヘッド

図 10.6 RS-690 の使用ヘッド<sup>5)</sup>



図 10.7 ソニー TC-6150SD (1973 年)<sup>6)</sup>  
当時のカセットデッキで標準的な水平型

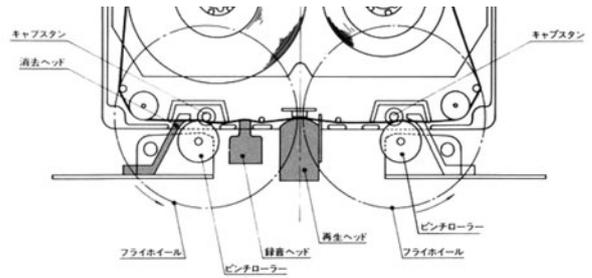


図 10.8 TC-6150SD の走行系およびヘッド配置概略図<sup>7)</sup>

独立型3ヘッドは性能追及に適しており、コンパクト・カセットの音響機器としての可能性訴求に貢献したが、ヘッド形状が特殊なためコスト面での制約が大きく、低位機種への展開が難しかった。また録音ヘッドは小窓部に挿入するが、この位置はカセットハーフ側のガイドピンに比較的狭い間隔で挟まれているなど、テープ走行の精度とヘッドとテープの当たり確保が難しい。このため録音・再生時でのアジマスずれや録音時のスペーシングロスが発生しやすく、メカニズムの精度確保と製造時の調整工程などにもコストがかさむ。標準的な録再ヘッドに近いサイズで3ヘッド機能を果たすことができれば、共通のメカニズムが使用できるなど大きなコストダウン効果が期待できるので、録音と再生ヘッドを一つのケースに組み込んだ「録再コンビネーション・ヘッド」が開発され、その後の3ヘッドタイプの主流になっていった。テープとヘッドの当りは従来通り中央のパッドに依存できるが、パッドの幅は約4~5mmと小さいので、両ヘッドのギャップを2~3mm前後まで近づけることが必要であり、高度なヘッド加工技術が要求された。1970年代には日本におけるこのような電子デバイスの設計、製造技術はかなり高度になってきており、優れたコンビネーションヘッドを生み出すことができた(図10.9)。コンビネーションヘッドでは録音、再生それぞれのトラック高さ(位置)を正確に合わせ、かつ、ヘッド突き出し段差(前面位置)をなくすと同時に、両方のギャップの相対的な角度ずれを極小にしてアジマスロスを防ぐ、という複数軸での精度確保を同時に行う加工・組み立てが必要になる。加工精度で追求する手法に加え、ヘッドとして組み立てた後にアジマス調整を行う「独立懸架型」という構造を採用するヘッドもあった(図10.10)。



図 10.9 初期のコンビネーション・ヘッド<sup>8)</sup>

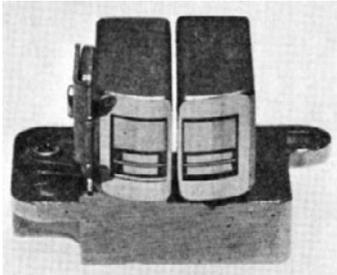


図 10.10 独立懸架型コンビネーション・ヘッド<sup>9)</sup>  
トラック位置、突出し量などを合わせて組み立て、セット搭載後に録音ヘッドアジマスを調整

## 引用

- 1) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.285
- 2) 大木 他：「National Technical Report Vol.22」 パナソニック(株)、1976年8月、p.425
- 3) 「JASジャーナル特別号 特集オーディオの世紀」 JAS Journal 2001, Vol.41, No.10, p.58
- 4) 大木 他：「National Technical Report Vol.22」 パナソニック(株)、1976年8月、p.423
- 5) 広田、田中：「National Technical Report Vol.22」 パナソニック(株)、1976年8月、p.367
- 6)、7) ソニー株式会社 提供
- 8) 広田、田中：「National Technical Report Vol.22」 パナソニック(株)、1976年8月、p.367
- 9) 高橋四郎：「磁気ヘッド材料の最近の動向」 JAS Journal 1981, Vol.21, No.10

# 11 | ノイズリダクション・システム

## 11.1 ノイズリダクション・システムの導入

初期のコンパクト・カセット機は、当時普及していたオープンリール式のテープレコーダーに比べると、音楽録音用として音響機器の仲間入りをするにはあまりに貧弱な性能であった。録再性能の改善を目指して磁性体やヘッドの改良が積極的に進められたことは8章～10章で述べたが、信号対雑音比（S/N比）を大きくし、ダイナミックレンジを拡大する手段として、家庭用テープレコーダーでは始めてノイズリダクション・システムが本格的に取り入れられることになり、この成功が本格的なオーディオ機器として認められる大きな要因となった。

テープレコーダーの音を聞くと、「シャー」というノイズが気になることがある。音楽などで音の小さい（レベルの低い）箇所では特に気になることが多いが、これはヒス・ノイズと呼ばれる雑音で、高域成分が多く含まれるためかなり耳に付く。この雑音を減らす最も簡単な方法はフィルターで高域をカットする方法であるが、これでは信号成分（音楽成分）も高域が下がってしまうので周波数特性に伸びのない、もごもごした音になってしまう。人間の耳はレベルの小さい音を聞いているときには背景のノイズがよく聞こえ、大きな音があるとノイズはあまり気にならない、という特性を持っている。このような効果も利用しつつ、レベルの低い音のときには録音レベルを上げて記録し、再生時にレベルを下げて元に戻すという操作を行うと、音の成分は元のままでノイズだけを押さえることができる。すなわち録音再生の過程で音を圧縮・伸張するわけであるが、この原理を応用して、業務用テープレコーダーで実際に運用できるシステムとして完成させたのが米国のドルビー研究所（Dolby Laboratories, Inc.）であり、1966年に英デッカ社が自社のマスターテープに最初に導入したとされている。このシステムは20Hz～20kHzの帯域を4分割し、各帯域で圧縮・伸張を行い10～15dBのS/N比改善を得るというもので、ドルビーAと呼ばれた。

## 11.2 ドルビーBタイプ

ドルビーAは音響帯域全体を対象に圧縮・伸張を行うわけだが、この方式を安易に実現すると、ある周

波数にのみ大きなレベルの信号があっても全帯域が操作されるため、背景雑音のレベルが変化して聞こえる現象が発生し、聴感上、不自然な音質になってしまう。もともとの雑音特性が良好なら、このような副作用も相対的に小さく問題は少ないが、コンパクト・カセットでは規格の厳しさから裸のノイズが大きく、音のにごりやひずみ感を増大させることにもなり、マスキング効果だけに期待するには問題があった。またドルビーAは帯域を分割してそれぞれの帯域ごとに操作するなど回路的にも複雑で、コストがかかることも課題であった。

各周波数に対する人間の耳の感度は、いわゆる「フレッチャー・マンソンの曲線」として知られており、よく聞こえる帯域は限られている。図11.1からは、人間は1kHz～6kHzくらいの音に敏感で、それより高い音や低い音に関しては感度が鈍くなることが分かる。テープレコーダーのヒスノイズ対策においても、この敏感な領域を狙って圧縮・伸張を行えば効果的な雑音低減を行えるとして実現したのがドルビーBである。

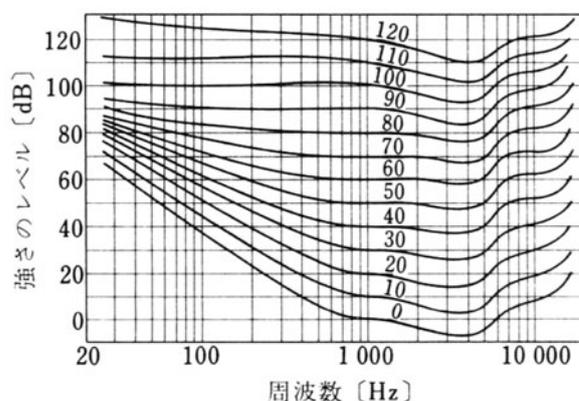


図 11.1 フレッチャー・マンソンの等感度曲線<sup>1)</sup>

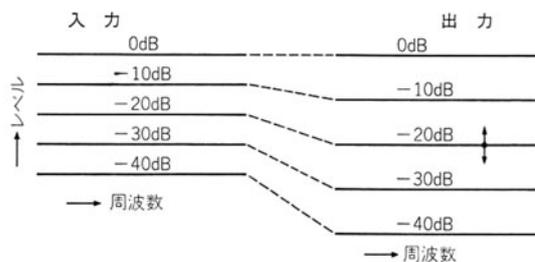


図 11.2 全帯域レベル圧縮方式のデコード特性<sup>2)</sup>

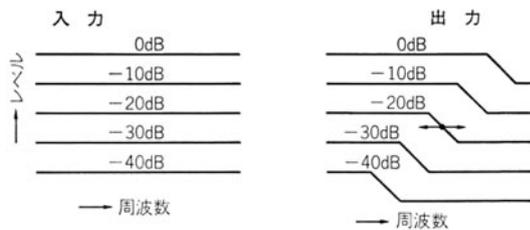


図 11.3 スライディング・バンド方式のデコード特性<sup>3)</sup>

図 11.2 は全帯域レベル圧縮方式の再生時の周波数特性を示したもので、周波数によらず信号を伸張することを表している。この場合、ある周波数に大きなレベルの信号があると圧縮・伸張動作が全帯域にわたって抑制され、雑音低減効果が少なくなってしまう。これに対して図 11.3 はドルビーBで採用された「スライディング・バンド」と呼ばれる方式の再生時周波数特性を示しており、信号レベルによって高域を一定量伸張することが分かる。低～中域に大きなレベルの信号があっても高域では一定量の減衰を確保することになっており、ブリージング\*などの副作用も抑えることができる。

このドルビーB方式は圧縮・伸張動作を最小限に抑えて副作用を防ぐことができ、コスト的にも比較的有利であったため、コンパクト・カセット用のノイズリダクション・システムとして広く普及することになった。反面、比較的穏やかな動作で信号を操作するため、雑音軽減効果はそれほど大きくなく、おおむね10dBのS/N改善量とされており、デジタルオーディオ時代に向けて、さらに効果の大きいノイズリダクション方式の開発競争が展開されていくことになる。図 11.4 にドルビーBの効果と、後に導入された、よ

り効果の大きいドルビーCとの比較を示した。

\* 信号の圧縮・伸張を行うドルビーのようなノイズリダクション・システムでは、ある周波数にレベルが大きく変わるような信号があると、この信号によって圧縮・伸張動作が働いてノイズ低減の効果が上下し、背景のノイズが変化して聴感的に不自然に聞こえることがある。この現象をブリージングと呼ぶ。

## 11.3 ドルビー・ノイズリダクション (NR) の普及

ドルビーBタイプのノイズリダクション・システムは、最初は独立したユニットとして発売されたが、すぐにカセット・デッキに組み込まれるようになり、1971年に内蔵カセット・デッキの1号機がTEACから発売された(図 11.5)。ソニーからも1972年にTC-2250SD(図 11.6)が初のドルビー内蔵カセット・デッキとして発売されるなど、ドルビーBノイズリダクションはカセット・デッキの標準機能として、瞬くうちに普及していった。



図 11.5 ドルビーB内蔵カセット・デッキ TEAC A-350 (1971年)

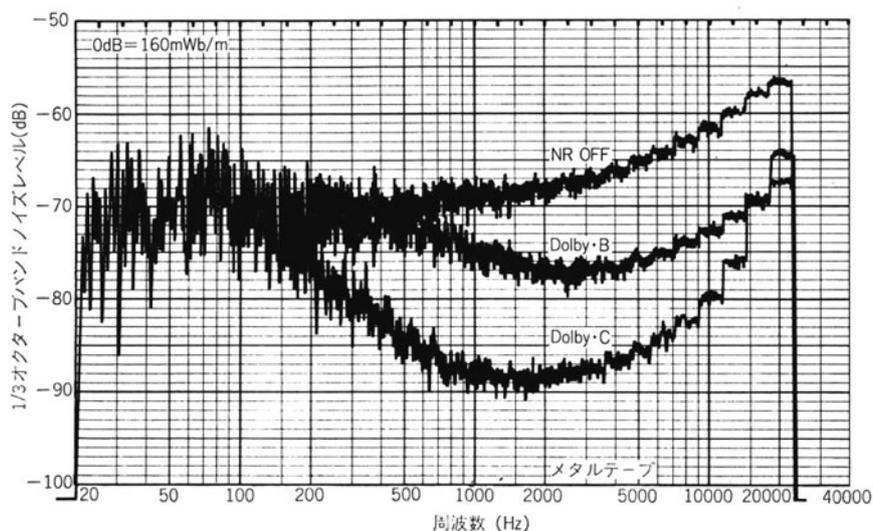


図 11.4 ドルビー ノイズリダクションの効果<sup>4)</sup>



図 11.6 ソニー TC-2250SD (1972年)

クロミテープの開発に続いて、ドルビーNRの採用が録音再生性能の向上に大きな役割を果たし、コンパクト・カセットをメモ録音機から音響機器へと引き上げたことは、その後のテープレコーダーの発展史を決定的なものにした。ドルビーのような圧縮・伸張を行うノイズリダクションでは、単純なフィルターによるノイズカットに比べて大きな効果と音質の確保が期待できるが、圧縮録音されたテープは定められた形で伸張再生されなければ機器間での互換性は保てなくなる。ドルビーBが世に出たころは他に有望な対抗馬がなく、比較的スムーズに標準的なシステムとして定着したのは幸運であったともいえよう。ドルビー研究所は技術開発からスタートした会社だが、ドルビーNRの普及に際して巧みな技術契約戦略をとり、ライセンスビジネスをビジネスモデルとして成功させたことでも有名である。この後、さらなる雑音低減効果を目指していろいろな方式が開発され、市場での競争も展開されるのであるが、ドルビーBは基本的なNRとして最後まで使われるとともに、その後継に当たるドルビーCも数あるライバルを抑えて標準システムといってよい地位を確保できたのは、「ドルビー」という名前に対する安心感のおかげもあったかもしれない。

## 11.4 その他の方式

ドルビーBはデファクトとして普及したわけだが、同じころ開発・実用化されて競合した方式について紹介する。

### 11.4.1 ANRS

日本ビクターは独立4chステレオレコードとして「CD-4」を独自に開発してきたが、リア信号を得るために超高域に記録する差信号の雑音低減技術として、独自に開発したノイズリダクション・システムがANRS (Automatic Noise Reduction System アンルスと呼ばれることもある) という方式である。同

社のカセット・デッキには、ドルビーB登場にさほど遅れることなくANRSの搭載が始まった。ANRSはビクターの独自技術であるが、ドルビーBとよく似た動作をする方式であり、互換性があるとされていた。標準化の推進と特許許諾料確保を狙うドルビー社は、ANRS方式について日本ビクターと交渉を続けたが、最終的にはANRSの独自性を認め、またドルビーBとの互換性も公式に認めることになった。日本ビクターのANRS搭載カセット・デッキでは、NRのスイッチ表示が「ANRS / DOLBY B」となっているものが多く、互換性があることを示している。

### 11.4.2 dbx

1970年代初頭に米国のdbx研究所が開発・発表したノイズリダクション方式であり、ドルビーAに対抗する業務用の高性能雑音低減システムとしてスタートした。広範囲の周波数およびレベルにわたって動作するように設計されており、対数的に直線となるような圧縮・伸張特性を持つ。図11.7にdbx方式の入出力特性を示したが、0dB以上のレベルの高い信号に対しては減衰特性となるため、テープの飽和特性を補償することができ、大きな雑音低減効果も得られるといった多くの優位性がある。反面、回路が複雑でコストが高く、周波数帯やレベルによらず一律に圧縮・伸張を行うため、基本性能の劣る機器ではプリージングが目立ちやすいなど、普及型のテープレコーダーでは採用が難しい面もあった。NR効果が大きいことと音質的な評価が要因となって高級カセットデッキに採用するメーカーは増え、ドルビーより高級なNRというイメージはある程度定着した。また業務用機器の世界では比較的広く受け入れられ、録音スタジオ等でよく使われていたこともあってミュージック・テープの導入に障壁はなかったが、民生用機器での採用が伸びず、市場では次第に姿を消していった。

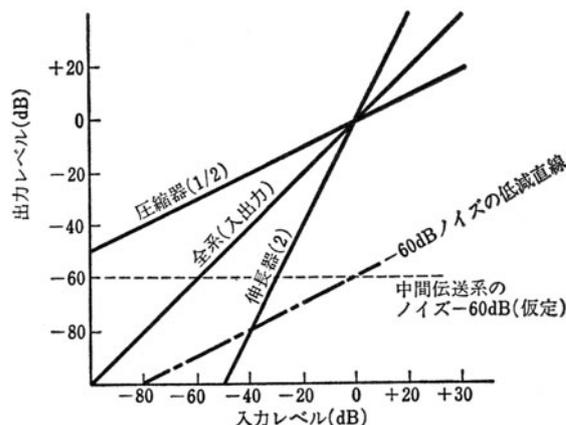


図 11.7 dbx方式の入出力特性<sup>5)</sup>

## 11.5 ノイズリダクションの進歩

ドルビーB、ANRSと dbx は比較的早くからカセット・デッキに搭載され、コンパクト・カセットのHi-Fi化に商品面でも貢献したが、1970年代後半からはデジタル・オーディオの実用化が現実のものとして見えてくるようになり、コンパクト・カセットにもさらなるダイナミックレンジの拡大、すなわちノイズ低減効果の増大が望まれるようになる。この時期に日本のメーカー各社は、独自開発や欧米メーカーとの共同開発などを通して、独自のノイズリダクション方式を開発、発表している(表11.1)。一方、老舗のドルビー社はドルビーBの発展型としてドルビーCタイプを発表した。ドルビーCはBタイプを2段重ねて動作させるような方式で、より低域までノイズ低減の動作領域を広げ、20dB以上のノイズ低減効果を得るというものであった。図11.8のブロックダイヤグラムからもわかるが、Bタイプの回路を2段つなげれば実現できる上、同じ回路で1段だけ動作させるとBタイプとしても働かせることができるので、B/Cの切り替えが簡単に行えるだけでなく、IC化を含めたコスト面でのメリットも容易に予測された。他の方式に比べて、ノイズ低減効果や細かい音質への対応策などで劣る点もあったが、デジタルオーディオ時代にコンパクト・カセットに求められるノイズリダクションとして満足できるレベルの性能は備えていたし、「ドルビー」という名前の浸透度を勘案するとドルビーCの採用は各メーカーにとって有利と判断されるところが多く、

ドルビーCもデファクトの地位を確保することになった。1982年にCDが発売されると、オーディオ業界は一気にデジタル化が加速し、コンパクト・カセットの高音質化競争も一段落となり、ドルビーCの普及は高級機の領域にとどまることになった。

こうしたNRシステムの競争は、NR動作の正確さを求めるために、副次的な機能開発も促しカセットデッキの性能向上に別の面でも貢献した。コンパクト・カセットでのノイズリダクション方式は、いずれもアナログ信号を圧縮・伸張することが基本であり、動作原理はテープレコーダーの録音・再生時の特性が均一であること、すなわち録音・再生したときの信号レベルは元の値に等しく、また周波数特性が平坦であることが前提になっている。この前提が崩れると、レベルの差は圧縮・伸張によって拡大される恐れがあり、周波数特性のずれはNRを誤動作させる可能性として潜在している。コンパクト・カセットでは機器の精度・安定性にはある程度の許容差があるし、いろいろなテープを使った場合、テープによって微妙な感度差や周波数特性の違いがあるのもいたしかたない。これらノイズリダクション動作の障害となるような特性のばらつきを抑え、正確な動作で高音質を確保する目的で、テープごとの「キャリブレーション機能」を装備した高級機が出現してくる。機器内部に基準信号の発生器を持ち、テープごとに録音・再生をしてレベル調整や、バイアス量による周波数特性の調整を行うようにしたものであり、手動で行うセットだけでなくCPUを使って自動的に行うセットも開発された。

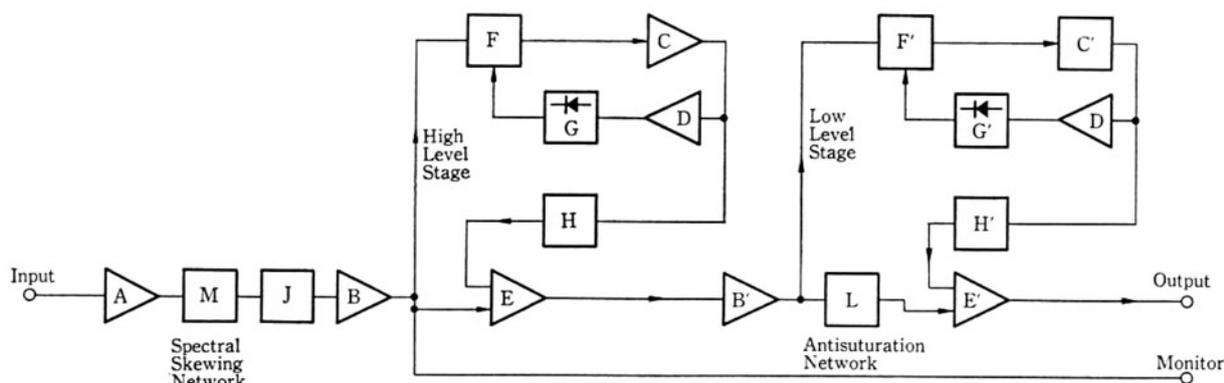


図 11.8 ドルビーCタイプ ブロックダイヤグラム<sup>6)</sup>

表 11.1 各種 NR システムの性能比較<sup>7)</sup>

NR方式名	Dolby B	ANRS	Supor ANRS	DNL	dbx II	Adres	High-Com II	Super D	Lo-D Compaander
開発社名	Dolby Lab.(英)	日本ビクター	Philips (蘭)	dbx (米)	東芝	Telefunken/ナカミチ	三洋	日立	
実用国内ブランド	各社	Victor	日立・東芝・ナカミチ	TEAC	Aurex	ナカミチ Aiwa	Otto	Lo-D	
NR効果	10dB (5 kHz以上) 5dB (1 kHz)	10dB (5 kHz以上) 5dB (1 kHz)	15dB以上 (10kHz)	30dB以上	30dB (10kHz) 20dB (1 kHz) 17dB (100Hz)	20~25dB	35~40dB	20dB以上	
対レベル	可変	可変	伸張のみ(可変)	直線	可変	可変	直線	直線	
圧縮伸	可変	可変	可変	なし	可変	可変	なし	なし	
張特性	—	—	—	1:2	1:1.5/1:1	1:2/1:1	1:2	1:1.5	
高レベル圧縮	なし	なし	なし	1:2	1:1.5	1:2	1:2	1:1.5	
周波数分割	なし	なし	高域のみ	単一帯域制御	単一帯域制御	2分割	2分割 (48kHz)	単一帯域制御	
レベル検出	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS	ピーク応答形	ピークレベル	
レベル検出チャネル	L/R独立	L/R独立	L/R独立	L/R独立	L/R独立	L/R独立	L/R独立	L+R	
エンファシス	固定+可変	固定+可変	—	固定	可変	可変	固定	なし	
アタックタイムΔ(ms)	1	1.5~2		数ms	1			高レベル:早い 低レベル:遅い	
リカバリータイムΔ(ms)	300	100		エンコード 200 デコード 400	100			200	
レベルマッチング	要	要	不要	不要	要	要	不要	不要	
プリージング対策	不要	不要	不要	エンファシス ハイレベル録音	圧縮比の軽減 可変エンファシス	圧縮比の軽減 帯域分割	圧縮比の軽減 帯域分割	圧縮比の軽減 帯域分割	
クリッピング	早いアタックタイム リミット	早いアタックタイム		早いアタックタイム ウェイツィンク回路	ウェイツィンク回路	早いアタックタイム	ウェイツィンク回路	高レベルで早い アタックタイム	
その他				周波数特性, レベル変動の良い デッキを使用	可変エンファシス	2分割 可変エンファシス	2分割	低レベルで遅い アタックタイムで 群遅延特性を守る	

## 引用

- 1) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、p.15
- 2)、3)、4) 白井達郎：「わが社のノイズリダクションシステム 日本ビクター」JAS Journal 1981,Vol.21, No.10
- 5) 小暮拓世：「わが社のノイズリダクションシステム 松下電器産業」JAS Journal 1981, Vol.21, No.10
- 6) 高須大八郎：「わが社のノイズリダクションシステム ティアック」JAS Journal 1981, Vol.21, No.10
- 7) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、1986年12月、p.512

# 12 | 駆動モーターの進歩

## 12.1 初期のメカとモーター

初期のコンパクト・カセット式テープレコーダーは、機能・性能を絞り、小型化と簡素化を目指した1モーター型のメカニズムから出発した(図12.1、図12.2)。オープンリールに比べると機構自体も小型にすることができ、テープ駆動に必要な力も少なく済むため、出力の小さな直流モーターが使われた。一方、高性能を目指したいわゆるカセット・デッキもすぐあとを追って普及していく。オーディオ機器として性能・機能を追及する場合、機構自体も精度や信頼性において、小型機器とは違った高い基準を満たすことが求められ、同じコンパクト・カセットを動かすテープレコーダー機構ではあるが異なった発展型が生み出されていった。当初デッキタイプは家庭内で使われることが前提になっており、交流電源仕様なのでオープンリールで標準的に使われていたACモーターが採用されることが多かった。コンパクト・カセットが登場したころのDCモーターは、玩具やちょっとした家電品程度の用途が主で、オーディオ機器に用いるデバイスとしては、かなり未熟なものしかなかった。これに対してACモーターはレコードプレーヤーやオープンリール型テープレコーダー用として、音響機器用に設

計された優れたモーターが既に多く存在していた。また、レコードプレーヤーでもテープレコーダーでも正確な回転数を保つことは特に重要であり、このため電源周波数に同期して回すことができるヒステリシス・シンクロナス・モーターは音響機器に適していた。

その後、デッキ型、ポータブル型ともに全体の機構設計はどんどん洗練されていくが、どちらのメカにおいても駆動用モーターは、ACモーターからDCモーターが中心になっていった。これは回転速度を一定に保つサーボ技術の発展と、音響デバイスに適した設計のDCモーターが次々と開発されてきたことが要因だが、機構設計側からモーターという基幹デバイスに高いスペックを求め、デバイス側がそれに応えると、新しいモーターを使いこなしたメカ側からはさらに高度な要求が出てくる、という相互作用が強く働いた結果といえよう。またコンパクト・カセットというサイズの制約が自然と機構の大きさを決めていくように働き、DCモーターという小型デバイスの採用を促進させたという側面もあったと思われる。なお、音響機器に適したモーターとは、回転が滑らかで回転ムラが少ないこと、静粛であること、所定の負荷の下で最低でも1,000時間以上の長寿命が保証できること、電磁的ノイズが少ないこと、一定回転数が得やすいことなどである。

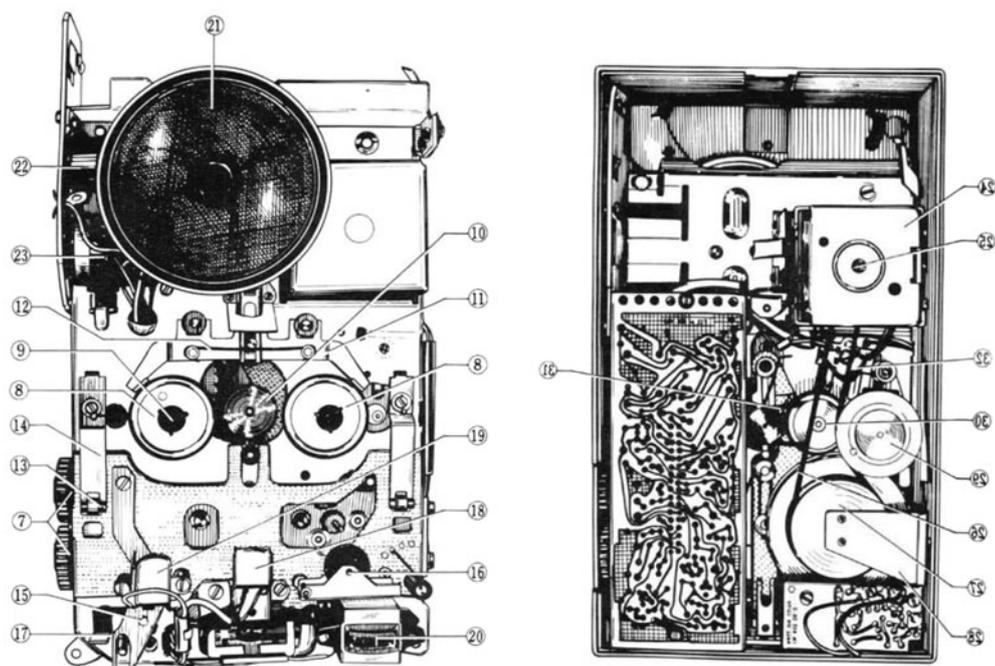


図 12.1 初期のカセット式テープレコーダーの内部<sup>1)</sup>

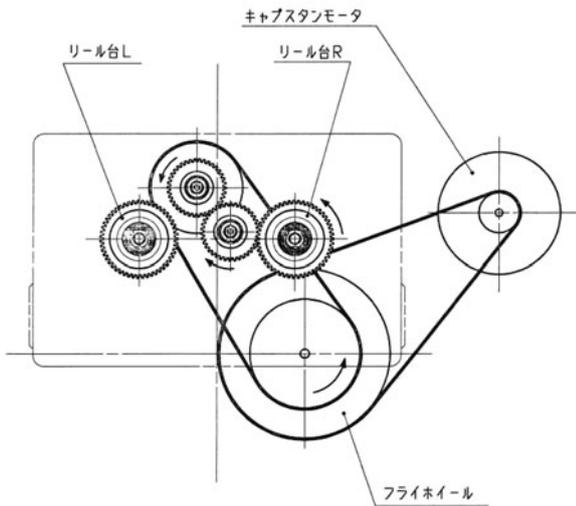


図 12.2 1 モーター型デッキメカの基本型<sup>2)</sup>

## 12.2 サーボモーターの開発

初期のコンパクト・カセットで使われた DC モーターは、定速性を得る手段としてメカニカル・ガバナーという機構を組み込んだモーターが多かった。メカニカル・ガバナーとはモーターの回転数に比例して発生する遠心力を利用して、モーターへの電力供給線を自動開閉するスイッチのことである (図 12.3)。モーターの回転する軸におもりと接点を持ったガバナー本体が直結されており、回転数が上がると遠心力によりおもりが外周方向に移動することによって接点が開き、電流が流れなくなって回転数が落ちる。一定以上に回転数が下がるとおもりに働く遠心力が小さくなるので接点が閉じ、再び電流が流れる。こういう動作が 1 分間に数十～数百回繰り返されて一定回転数を保つ仕組みである。比較的簡単な機構で安価であるが、接点の開閉のたびに電気的ノイズが発生しやすく、また定速性を厳しく求めようとすると、接点圧の調整などが非常に微妙になり信頼性や寿命に影響が出てくる。性能的にはそこそこであるが、構造が簡単で安価に実現できることから、普及型テープレコーダー用のモーターとしてよく使われた。

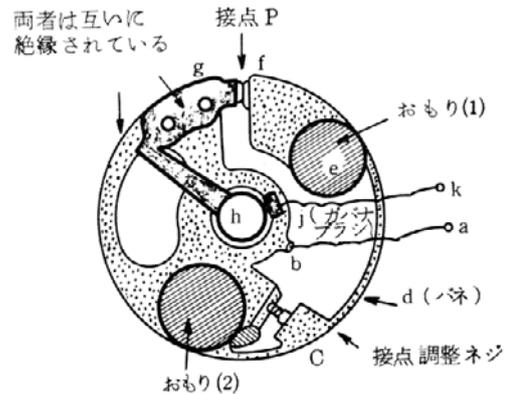
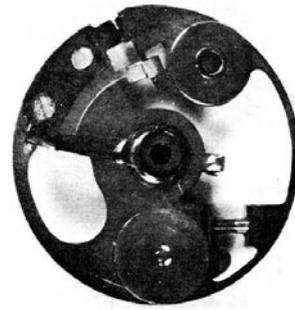


図 12.3 メカニカル・ガバナー<sup>3)</sup>

ガバナー・モーターは定速性に限界があること、本質的に電気的ノイズが大きいこと、信頼性がやや低いことなどから、より高性能なモーターの実現のためサーボ技術の導入が図られた。回転数をセンサーで検出し、その情報で駆動電源をフィードバック制御すればサーボモーターとして動作するわけだが、このセンサーとして開発されたのが交流発電機の原理を応用した周波数発電機 (FG) である。複数極着磁されたリング型磁石を回転させ、くし形のセンサーに巻いたコイルに、回転数に応じた周波数の交流を誘起させるというのが FG の原理であり、着磁数を  $N$  極、回転数を  $X$  rps とすると  $N \times X$  Hz の交流電圧が発生する。図 12.4、図 12.5 に FG 構造と原理を示し、図 12.6 に実際に FG を組み込んだモーターの内部を示した。

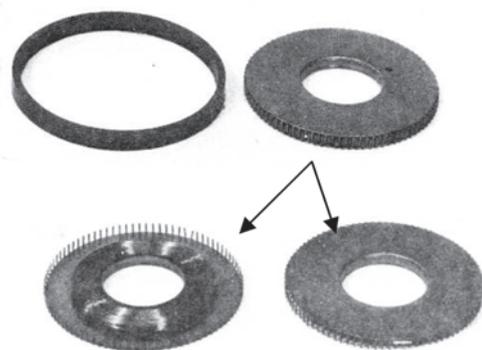


図 12.4 FG 全体とくし歯型センサー部構造<sup>4)</sup>

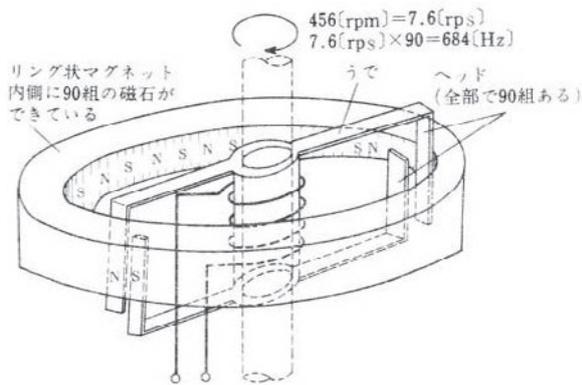


図 12.5 FG 原理図<sup>5)</sup>

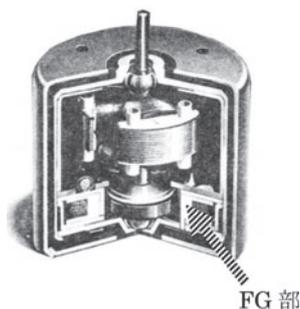


図 12.6 標準的な DC モーターの一例<sup>6)</sup>

FG が発生する電圧の大きさと周波数は回転数に比例し、いずれも制御用信号として利用することができる。極数を大きくすれば低い回転数でも高い周波数の信号を得ることができ、センサーとしての精度を上げることができるが、あまり極数を大きくしすぎると、今度は出力が低くなり S/N 比が悪くなってセンサーとしての信頼性が落ちることになるので、使用する回転数に適した出力が得られる FG が設計・装着されている。

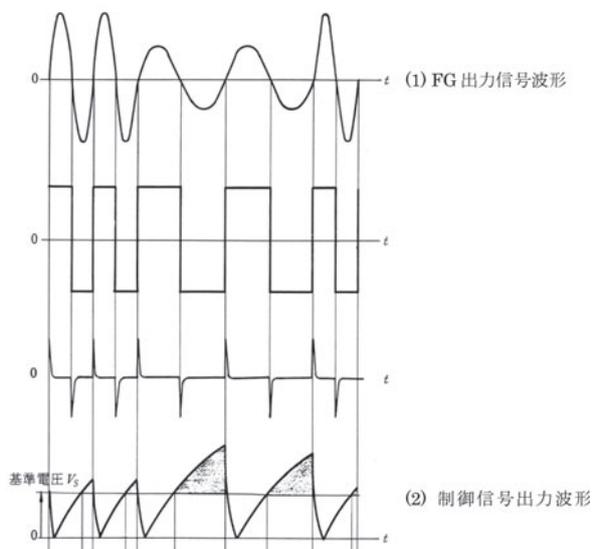


図 12.7 FG 出力の信号処理 (部分)<sup>7)</sup>

FG 出力信号は回転数の変化に伴って図 12.7 (1) のように変化する。回転数に比例して大きさが変化する AM 変調と周波数が変化する FM 変調が組み合わさった形になるが、この AM 変調を利用して制御信号とする方法は、電子回路が比較的簡素にできるのでコストを重視する機種ではよく使われたが、せっかくの FG の能力を十分発揮するには不向きだった。これに対し、FM 変調を利用して制御信号を得る図 12.7 のような方式は周波数制御と呼ばれ、それなりのコストはかかるものの高いサーボ性能を発揮することができたので、デッキなど高級機では多用された。

1 モーターの基本型から出発したカセット・デッキの機構は図 12.8 のようにリール駆動用モーターを独立させた 2 モーター型に進化する。この形式では正確なテープ送りのキーとなるキャプスタン駆動用モーターを専用のできることで、さらに高い性能が実現でき、キャプスタンを直接モーター軸とした「ダイレクト・ドライブ」型へも発展していった。

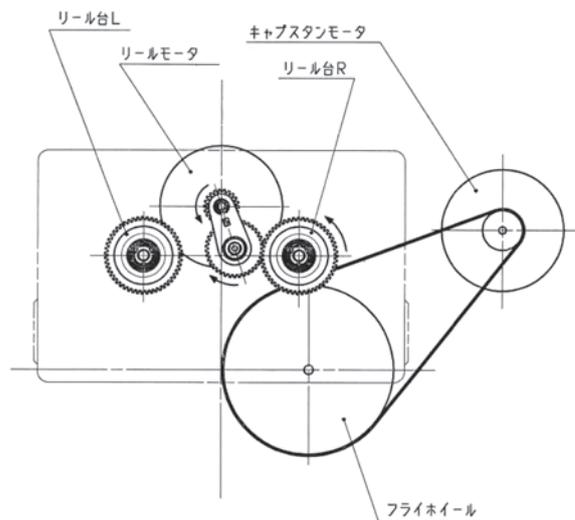


図 12.8 2 モーター型デッキメカの基本型<sup>8)</sup>

## 12.3 ダイレクト・ドライブモーター

キャプスタン軸を直接モーター軸とするダイレクト・ドライブ方式は、回転数を低くでき振動や運転音が極小で音響機器に適している。ベルトやアイドラといった動力伝達機構を用いてキャプスタンを減速駆動する間接駆動方式に比べて、機構も簡潔になり信頼性の観点からも有利である。しかし間接駆動方式ではモーターの回転数を効率の良いところに設定でき、また減速により駆動トルクも確保しやすいので、小型で安価なモーターを使える可能性が高く、モーター選択

の自由度が広い。反面、動力伝達用の部材が介在するのでサーボ特性を含めた駆動系全体の構成は複雑になり、制御系の性能発揮はやや困難になる。ダイレクト・ドライブではこの反対で、機構がシンプルでサーボ制御の精度を追求しやすいが、回転数が低く、さらにコンパクト・カセット式テープレコーダーの場合には大径のフライホイールは採用できないので、慣性モーメントに頼ることができない。このためキャプスタンの回転数を検出するFGの出力周波数をできるだけ高くして、サーボ帯域を広く取るようにすること、および、回転をできるだけスムーズなものにするモーターの設計が必要となる。このためブラシレス・モーターが必須になりコスト的には不利になるが、高性能デッキでは採用したい構成であった。

オープンリールではメカ的なスペースに余裕があり、駆動系の設計やモーター選択の自由度が大きいのでダイレクト・ドライブの採用は比較的少なかった。ダイレクト・ドライブ式モーターは、まずレコードプレーヤー用として開発されたといっていいただろう。松下はレコードプレーヤー用として早くから低速ブラシレスモーターの開発を進めており、この技術がより小型のカセットデッキにも応用されて「ダイレクト・ドライブ」を早期に実現することができたものと思われる。1970年にはRS-275U（図12.9）というカセット・デッキにダイレクトドライブ方式を世界で初めて搭載した。



図 12.9 松下 RS-275U (1970年)<sup>9)</sup>

レコードプレーヤーは、再生機として音響機器の主力の位置を早くから確立していたが、第二次大戦後は、LPレコードの普及、ステレオ化などソフト側の大きな進歩もあって、家庭用オーディオ機器の最重要アイテムとして構成要素すべてにわたって活発な技術開発、製品開発が進められた。例えばレコード再生の要ともいえるピックアップ・カートリッジは、従来欧米の老舗メーカーが優秀な製品を提供していたが、1960年ごろから日本に多くのカートリッジメー

カーが誕生し、欧米製品に劣らない製品を生み出すようになっていった。特に戦前から円盤録音機で活躍してきたデンオンは、NHK放送技術研究所と協力し、DL-103を生み出した。このカートリッジは1964年にFMステレオ放送送用の業務用カートリッジとして開発されたが、FM放送の音質の高さに感動したオーディオ・ファンから問い合わせが相次ぎ、1970年に民生用として発売されたMC型カートリッジで、名機として世界中で愛好された。ちなみに現在も継続販売されている現役機種である。カートリッジやトーンアームなどトランスデューサー部と並んで、ターンテーブルの駆動機構についても開発は活発で、アイドルドライブからベルトドライブへの進化やサーボ技術の導入など顕著な性能改善が実現されていった。松下はレコードプレーヤーへの搭載を目的に、低速のDCブラシレスモーターの開発を早くから進めており、1969年にブラシレスDCタイプのダイレクト・ドライブ型フォノモーターの技術発表を行った。ソニーもほぼ同時期にダイレクト・ドライブフォノモーターの開発を行っていたが、こちらはACモーターを使う方式であった。ダイレクト・ドライブの技術発表は松下が先行したものの、商品ではTTS-4000（図12.12）およびそれを組み込んだプレーヤー・システムPSE-4000を、1970年に松下より1カ月ほど早く発売した。松下はSP-10（図12.10、図12.11）を発売し、日本から世界初のダイレクト・ドライブ式フォノモーターが相次いで登場することになり、世界の音響製品市場に日本オリジナル技術を問う最初の機会となった。



図 12.10 松下 ダイレクト・ドライブ・ターンテーブル SP-10(1970年)<sup>10)</sup>

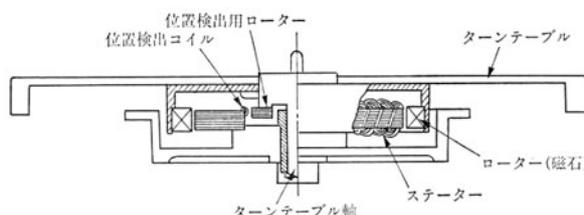


図 12.11 SP-10のDCダイレクト・フォノモーター断面図

## 12.4 DC ブラシレスモーターの開発



図 12.12 ソニーAC サーボ式ダイレクト・ドライブ  
フォノモーター TTS-4000 (1970年)<sup>11)</sup>

松下はこのDCダイレクト・ドライブモーターを武器に、レコードプレーヤーの世界市場でトップシェアを占めるまでになるが、この低速DCサーボモーターの技術をテープレコーダーのダイレクト・ドライブ化にも応用し、カセット・デッキでの世界初のダイレクト・ドライブ化を実現した。またオープンリールでも、シングル・キャプスタンのクローズドループ機にこの技術を応用し、ユニークで高性能な高級機、RS-1500U (図 12.13) を 1976 年に発売している。図 12.14 には RS-1500U に使われたダイレクト・ドライブモーターの外観と内部を示した。



図 12.13 松下 RS-1500U (1976年)<sup>12)</sup>

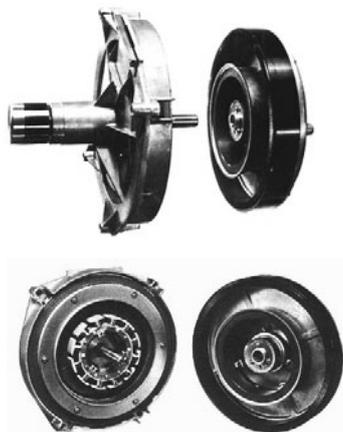


図 12.14 RS-1500U のキャプスタン・モーター (外観  
と内部)<sup>13)</sup>

ACモーターは回転磁界によってローターに誘起する誘導電流や渦電流を利用するので、トルクむらがなく、音響用として優れた特長を持つ反面、制御性があまりよくないのが欠点である。反対にDCモーターは制御性は良好だが、回転を続けるために磁極を反転するタイミングで発生するトルク変動が大きく、これを防ぐために極数を増やして、複数の極で発生するトルクを平均化させるような工夫が必要になる。このためには界磁側の巻き線構造が複雑になるなど製造上の問題も出てくるが、ACモーターに比べて効率を上げやすいので小型化・軽量化に向いており、制御回路も大きな交流を扱うことがないのでトランジスタ回路と相性が良いなど、小型機器のデバイスとして有望であった。実際、この後に登場してくるAV機器類のほとんどでDCモーターが使われていくようになった。ソニーは1970年に回転トルクの安定性を重視したACモーターによるダイレクト・ドライブ式フォノモーターを世界で最初に発売し、しばらくプレーヤーシステムの基本デバイスとして使用したが、DCモーター化の準備を着々と進めていた。

DC化するに当たって、磁界切り替え時のトルク変動の抑え方が検討され、極数を増やすのではなく原理的にリニアにトルクを発生する駆動方式を開発することになった。一般にDCモーターの発生トルクは、ローターとステーターの間(空隙)の磁束密度と、その空隙磁束と相互作用をする巻き線に流れる電流の積に比例する。ラジアル方向に複数極のサイン波着磁を行った薄い円筒型の磁石をローターとし、2組の磁極が45度の位相差を持つようにステーター側のコイルを配置する。この2組の巻き線にローター側の磁束に比例した電流を流すために、磁束検出器としてホール素子を用い、スイッチングではなくリニアに電流が変化するようにすると、第1の組の巻き線と磁石で発生するトルクは  $\sin \theta$  ( $\theta$ はローターの回転角度を表す)の2乗に比例する。残る1組は45度位相がずれているので、発生トルクは  $\cos \theta$  の2乗に比例することになり、両方を足し合わせた発生トルクは、

$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$  に比例することになるので原理的に一定トルクとなる(図 12.15)。この方式のモーターをBSL (Brush & Slot Less) モーターと呼び、中～高級音響機器の主要モーターとして展開した。最初はレコードプレーヤー用のダイレクト・ドライブ・フォノモーターとして使われたが、カセットデッキ用

の標準モーター（図 12.16）や、ダイレクト・ドライブ式キャプスタンモーターなどへと用途は広がり、さらに極検知センサーを一つにした OTM（One sensor two phase）型も開発されて、ウォークマンの薄型化のために使われるようになっていった。

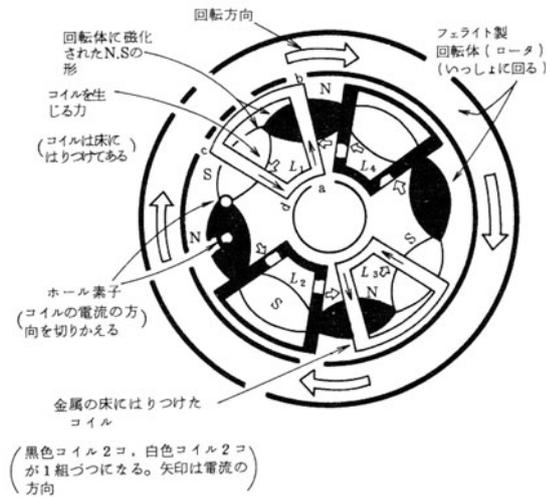


図 12.15 BSL モーター原理図<sup>14)</sup>

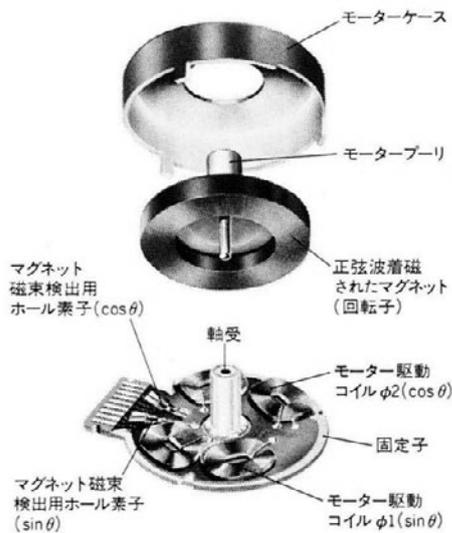


図 12.16 標準型 BSL モーター

## 12.5 ポータブル機器用コアレスモーター

コンパクト・カセットのサイズを生かした小型テープレコーダーは、オープンリール時代よりもはるかに魅力的な製品として進化した。この種の新しい小型テープレコーダーでは、用途から考えて高い Hi-Fi 性よりも小型・軽量で使い勝手が良いことが重視され、また、電池による使用がほとんどと考えられるため消費電力が重要な課題であり、モーターの消費電力低減は重要な意味を持っていた。小型テープレコーダー用

モーターには、最初は鉄心型の標準的なブラシ付 DC モーターが使われた。形状はできるだけ小さく、速度制御はメカニカル・ガバナーや逆起電力制御など簡素な装備のモーターが選択されたが、鉄心型の標準的なモーターでは大きさや消費電力の面で限界があり、セットの高度化に伴ってより高性能な方式が必要と考えられた。このころコアレスタイプの小径モーターが開発され、ハンディータイプの小型テープレコーダーに搭載され始め、消費電力のみならず機械的・電氣的ノイズの低減や信頼性など、モーター全般の性能が飛躍的に向上し、小型テープレコーダーの商品価値を大いに高めることができた。

一般的な小型 DC モーターの回転子は鉄心（コア）にコイルを巻いたものであるが、コアレスモーターは円筒状に固めた「かご」のような形のコイルが回転子となり、ムービング・コイル（MC）型とも呼ばれる。回転によって鉄心に生じる渦電流損失（鉄損）が発生しないため原理的に効率が良いが、小径化しても発生トルクを稼ぐため希土類磁石を使ったり、回転子が回る空隙部分のすき間をつめて磁束密度を上げるなど、全体的に高効率を狙った設計になっている。また FG も内蔵し、サーボ制御にも対応している（図 12.17）。小型コアレスモーターが活躍した小型ハンディー機については、6 章でウォークマンにつながる商品の展開について説明を加えたので参照されたい。

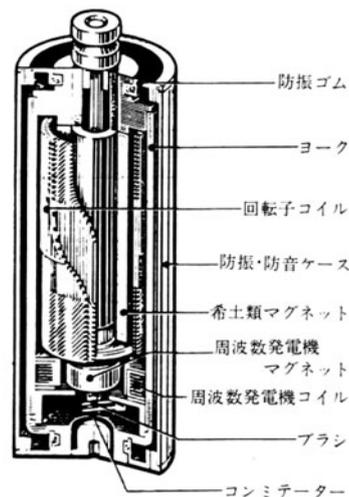


図 12.17 小径コアレスモーター構造図

### 引用

- 1) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.91
- 2) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1991年4月、

- p.171
- 3) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.173
  - 4) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.209
  - 5) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.209
  - 6) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.207
  - 7) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.217
  - 8) 「最新オーディオ技術」 オーム社、1995年2月、p.171
  - 9)、10)、12)、13) パナソニック株式会社 提供
  - 11) ソニー株式会社 提供
  - 14) 「テープレコーダーの基礎」 ソニー(株) 技術教育センター、1985年5月、p.220

# 13 | ヘッドホン・ステレオへの道程

## 13.1 ラジオの普及とホーム・オーディオ

従来、音響機器による音楽の聴取は家庭内での娯楽の一つであり、エジソンやベルリナーの蓄音機の発明以来、レコードという媒体に記録された音楽をリビングルームで聴く、というスタイルがずっと続いてきた。もちろんレストランや酒場などで、BGMやダンス音楽としてエンターテインメントをお客に提供するため音響製品が使われることはあるし、ジャズやクラシックなど特定の音楽を聴かせることを主とした店舗などもあるが、いずれにしても屋内で「良い音」「心地よい雰囲気」を追求する、どちらかという大型の装置を使った再生環境が主流であった。

1920年代からラジオ放送が始まり、欧米はじめ日本を含む世界各地で急速に普及する。最先端の技術である無線技術を使ったラジオ放送は、大衆への情報伝達的手段として画期的なものであり、人々はラジオの伝えるニュース報道に夢中になった。またラジオ放送では、新聞のような紙媒体では絶対にできなかった音楽の伝達が可能であり、その誕生時から音楽放送という娯楽の提供が、大きな価値として視聴者に歓迎されたのは当然といえば当然といえる。ラジオ放送が始まったころ、既に蓄音機とSPレコードはある程度普及していたが、一枚のレコードの演奏時間は10分以下であり、蓄音機やレコードの価格も高く、再生音響は真の大衆娯楽の領域には達していなかった。ラジオ放送が始まるとレコード業界は自らの領域がラジオに侵食されるのではないかと恐れたが、結果は全く逆で、繰り返し放送される音楽番組が聴取者の人気を集め、レコードと蓄音機の売り上げ増大に貢献することになった。流行の音楽をリードするラジオ放送とレコードによる再生音響は、互いに影響しあいながら「ホーム・オーディオ」という文化を形成していったといえる。日本におけるラジオ放送は、戦前は報道など情報提供が重視されていたが、戦後になって駐留アメリカ軍のためにAFN (American Forces Network)\*が開始されたのがきっかけとなり、音楽放送への関心が高まる。戦後間もないころの何もなかった日本に、多くの音楽ファン、オーディオファンが育つきっかけを作ったAFNの存在は大きかったといえよう。このころのAFNの音楽ソースは米本国内で録音された円盤媒体であり、世界のトップレベルにあったアメリカの

録音技術、放送技術で聞くラジオの音質は非常にすばらしいものに聞こえ、日本のオーディオ技術者を涵養する大きな刺激となった。1951年になると民間放送が開始され、日本における音楽放送はさらなる発展を続けていくことになる。

\* AFN: 日本では1997年までFEN (Far East Network) と呼ばれていた、米軍専用放送。

## 13.2 ラジオ放送の高音質化

1951年、日本でもLPレコードが発売され、演奏時間の長さだけでなく、音質の良さがオーディオファンに高く評価されて再生音響の高音質化が一気に広がることになり、ラジオ放送の音質についても不満が高まっていく。当時のラジオ放送は中波AM放送であったものの、1952年ころからはAM2波を使ったステレオ放送など、高音質化への工夫はなされていたが、テレビ放送の充実とともに、AMラジオの音楽番組はカーラジオや携帯ラジオ向けのいわゆる「ディスクジョッキー」型番組が主になり、音質向上はFM放送に託されることになった。

米国では既に1940年に約30のFM局が運用を開始していたが、1955年にFCC (米連邦通信委員会) がFMの多重放送の副チャンネルを利用してニュースやBGMを送る業務を認可したころから、本格的な普及が始まった。欧州では敗戦により中波の周波数割り当てを削減された西ドイツがFMで全国をカバーする計画を立て、1949年から放送を開始しているが、その良質な性能に英、仏などが注目しFM放送が広まっていった。日本では1957~58年NHKが東京と大阪で実験局を開局、1960年には民間の実験局であるFM東海が放送を開始した。日本では雑音や混信に強いという欧米で注目された性質よりも、高音質放送への期待が大きく、当初より音楽のHi-Fi放送に的を絞って放送が始まったようである。1956年に45/45方式のステレオLPレコードが確立されたが、当時のステレオ・レコードは一般のユーザーにとって非常に高価なものであり、FM放送のステレオ化は多くのオーディオファンから待望されていた。1963年12月17日にはNHKがFMステレオ放送を初めて送出したが、最初の曲はカラヤン指揮ウィーン・フィルハーモニーのモーツァルト交響曲40番であった。こうしてFM放送の本格化に向けた準備は着々と進められ、

1969年から1970年にかけてNHK、民放両方で本放送が始まり、日本における本格的なFM時代が幕を開けることになる。

### 13.3 音楽放送と録音機器

FM放送が本格化するのには、コンパクト・カセット式テープレコーダーが登場した時期とほぼ重なっており、高音質の音楽放送を録音する機器としてコンパクト・カセット式テープレコーダーは大いに注目される候補ではあった。FM放送の音質はNHKはじめ多くの関係者の努力が蓄積されていたし、受信機も日本のオーディオメーカーがしのぎを削る開発を進めていたので、音楽ソースとしてのFM放送はかなりレベルの高いものになっており、当初、録音用には音楽用高級オープンリール式テープレコーダーが適切と考えられ、オーディオファンの中でステレオ装置に接続して使うデッキタイプが数多く愛用されることになった。FMステレオ放送は19kHzにステレオのパイロット信号があり、音響特性はおおむね15~16kHzまで伸びているので（スペック的には）オープン・リールの19cm/s、4トラック・ステレオ程度の性能が必要であり、音楽放送を長時間連続して録音するためにリバース機なども歓迎された。またFM放送のお目当ての番組を録音するため、いわゆる留守録機能も1970年代初めに初めて搭載されるなど、オープンリール・デッキは性能・機能ともに成熟期を迎えていた。反面、コンパクト・カセットはメモ録音機程度の性能であり、本格的な音楽用Hi-Fi録音には無理だろうと思われていた。しかしその使い勝手と小型化の可能性、強固なデファクト・スタンダード性は将来を期待させるのに十分なものであり、何とかオープンリールに迫る音質性能を持たせようと、高音質化技術への取り組みが強化され、短期間で音響機器としての市民権を獲得するまでになっていったのである。（8章~12章参照）

### 13.4 パーソナル・オーディオへの変化

ラジオ放送普及のもう一つの側面は、視聴の個人化（パーソナル化）ということである。レコードによる再生音楽とラジオの聴取は、どちらも家庭内のリビングルームでのエンターテインメントであり、家族みんなで楽しむ…というスタイルであった。音響機器も長らく一家に1台というのが基本で、日本でステレオが普及し始めたころは、大型のアンサンブル型やセパ

レート型といった家具調のステレオ・セットがほとんどであった。ところがラジオは日本が主導したトランジスタ化による小型化が進み、早くからポータブル音響機器として新たな市場を開いていた。1960年代からこのポータブルラジオの価格が手頃なものになると、若い世代の間で深夜放送という形でディスクジョッキー番組が大いにはやり、これらの若者向け番組は次々と新しいミュージシャンや海外の最新ポップスを紹介し、音楽文化の広がりやレコード産業の拡大に大きく貢献することになった。小型ラジオでの音楽リスニングに親しんだユーザーは、さらに良い音や迫力ある音を求めてFM放送やFMステレオ放送に興味を広げ、高級なラジオやステレオを志向するようになるが、本格的な音響機器の価格は若者が個人的に入手するにはかなり高いという状況でもあった。

こうして音楽へのあこがれと人気は高まるのに、レコード、音響機器とも高価で若者には手が届かないという状況を「ラジオカセット」の出現が一変させることになる。コンパクト・カセットという小型化が可能なテープレコーダーとFM受信可能なラジオを一つの筐体に組み込み、アンプとスピーカーを装備した近代版電蓄ともいべきコンセプトは、価格的な魅力もあって、若い世代の個人用音響装置として爆発的な支持を得ていく。FM放送がコンパクト・カセットに確実に録音でき、簡単な再生操作で繰り返し聞けるといいう使い勝手のよさは、非常に優れた特長であり、その後もステレオ化、大音量化、ダブルカセット、CD組み込み等々、次々と最新技術と流行を取り入れながら重要な音響製品として発展を続けた。ラジオからラジオカセットへと続く機器の進歩は、オーディオのパーソナル化を一層顕著なものにしていき、個人が使う音響機器は、記録用のテープレコーダーとか情報収集用のラジオというイメージから、個人で音楽を楽しむ機器へと変わっていったのである。ラジオカセットはさらに小型のパーソナルコンポ（要するに子供部屋に置くステレオ）へと進化し、コンパクト・カセットに記録された音楽は、ユーザーの手元の膨大なソフト資産として蓄積されていったのである。



図 13.1 松下 RX-D30 ステレオラジオカセット (1981年)<sup>1)</sup>  
初のダブルカセットタイプ

## 13.5 ヘッドホン・ステレオ\*の誕生

コンパクト・カセットの性能向上が急速に進み、音楽用テープレコーダーの主流として定着したこと、ユーザーの手元に多くの記録済み音楽ソフトが蓄積したこと、音楽聴取のスタイルがパーソナル化し、個人による機器の独占が進んだこと、等々が背景にあったことは間違いないが、「いつでも、どこでも音楽が聴ければ!」という願望を明確な形で実現して見せたヘッドホン・ステレオの誕生は、その後のオーディオ環境を決定的に変化させる力を持っていた。誕生当時は録音のできないテープレコーダーという中途半端なコンセプトという見方もあったが、「いつでも、どこでも音楽…」という用途を満たすデバイスがたまたまコンパクト・カセット式テープレコーダーであった、ととらえることもできるし、コンパクト・カセットは性能・音質面で十分に受け入れられるレベルに達していたのも事実である。このポータブル音響機器のコンセプトがCD、MD、半導体と媒体の進歩につれて形を変えながら発展を続けていることを見ると、ヘッドホン・ステレオがテープレコーダー（を使った機器）であったのは偶然であったことがよく分かるし、成功の最大の要因は「いつでも、どこでも音楽を楽しめる」という商品企画にあったといえるであろう。ポータブル機器の追求する方向は単純で、小型・軽量・低消費電力ということに尽きるが、コンパクト・カセットという決められたテープの大きさと、駆動部分というメカニズムが必須であったことから、テープ式ヘッドホン・ステレオはさまざまな機構的工夫と電気回路の工夫が総動員されて究極ともいえる小型化を達成していった。

\* ヘッドホン・ステレオという呼び方はカテゴリー全般を指す名称であり、1号機の愛称「ウォークマン」の方が一般的に通用しやすいものと思われる。なお本報告書では特に区別せず使用している。



図 13.2 ソニー TPS-L2 (1979年) ウォークマン1号機<sup>2)</sup>

1989年ウォークマン10周年の記念誌に、当時のソニー会長 盛田昭夫が、ウォークマンの誕生のきっかけ、企画の本質、ネーミング等々について示唆に富む一文を寄せているので、参考までに以下に転載した。

「ウォークマン10周年記念誌」 ソニー広報室編 (1989年) より転載

ウォークマンはプロダクトプランニングの勝利  
ソニー会長 (当時) 盛田昭夫

1978年でしたか…。ある日、井深さんが改造したカセットプレーヤーとヘッドホンを手に私の部屋にやってきて、「ステレオのカセットプレーヤーを歩きながら聴けないもんかなあ」と言うんです。そのころのステレオカセットプレーヤーやヘッドホンは、歩いて聴くには大きすぎるし、重すぎたんですね。それで、井深さんの持ってきた改造プレーヤーの音を聴くと、確かにスピーカーで聴くのとは違ったよさがある。しかも、自分一人だけで聴ける。「こりゃ、なかなかおもしろいな」と思いました。

それから、私は人が音楽を聴いている場所が気になるようになったんです。若い人は部屋にはステレオ、車の中ではカーステレオ、しかし、街を歩いているときは音楽を聴けないんですね。時々、ラジオ付カセットを担ぎながら歩いている人を見ると思ったんです。「ああ、若い人はいつでも音楽を聴いていたんだな」と。それで、井深さんの持ってきたあのカセットプレーヤーが、ますますおもしろいものに思えてきたわけです。

で、井深さんの指示もあって、当時人気のカセットレコーダー“プレスマン”のレコーダー部分とスピーカーを取って改造してみました。「これのうんと軽いステレオタイプをつくったら楽しめるものになるんじゃないか」と、みんなの意見を聞くと、「そんなもの絶対に売れない」という人がほとんどなんです。当時の音響事業部からも賛成という声は聞けませんでした。なぜなら、「過去に録音のできないテレコは売れた例がない」というわけです。しかし、考えてみるとカーステレオのデッキだって録音できないものが多いのに売れています。だから「歩いているときもプレーヤーだけでいいじゃないか。絶対につくろう」ということで、本気になって試作機をつくるように指示しました。1979年7月1日に絶対発売するんだという、超特急の開発でした。

その間、私は、「アレにはいい名前をつけなければ」と思案してました。ある日、出張から帰ってくると、当時、PPセンターの部長だった黒木君が「ウォー

クマン”という名前にしました」と言うんですね。「ウォークマン？ 変な名前だなあ。もうちょっといい名前はないのか」と私が聞くと、「もう手遅れです。パッケージもポスターも全部ウォークマンで進めてますから変えられません。我慢してください」とそう言うんです。「そうか、それじゃ仕方がないか」というわけで、10年前の7月1日、“ウォークマン”(TPS-L2)という名前で発売したわけです。もちろん、そのときはまさかこんなに大きなビジネスになるとは思っていませんでした。でも、私は内心、「これはいけるぞ」という自信がありました。なぜならば、若い人は音楽なしではいられないということがわかってきたからです。また、我が家の子供たちはステレオをガンガンかけるので、これを使えば静かな家になるという個人的な事情からも、「これはいける」と思ったんです。

海外でも売り出そうと、アメリカに持っていくと、ソナム(ソニー・オブ・アメリカ)の人たちは、「ウォークマンなんておかしい。これは英語じゃない。この名前は使わない」と言い出したんです。それでソナムが考え出したのが、「サウンドアバウト」という名前でした。私は、「これもおかしい名前だけど、英語の国で売るんだから、その国の人の言う通りにしよう」と、アメリカではその名前で売り出すことにしました。ところが、今度はイギリスのソニーUKが、「サウンドアバウトなんてダメだ」と言うんです。英語は自国語という誇りがありますから納得しないんですね。そこで、イギリスでは「ストアウェイ」という名前で売り出すことになったんです。これも、意味はよくわかりませんでした。郷に入っては郷に従えます。

しかし、そのうちにウォークマンが日本で大人気となり、来日した外国人が、皆おみやげに「ウォークマン」を買っていくようになりました。そうこうしているうちに、この名前のほうが海外で知れわたるようになってしまったんです。また、英語圏でない国の人にはかえってわかりやすいのか、世界的に普及しはじめました。そこで、私は、「こうなったら世界中みんなウォークマンにしよう」と決心しました。アメリカもイギリスも、会長命令(こういうのはあまり好きじゃないんですが)で「ウォークマン」に変えさせ、世界中を「ウォークマン」で統一してしまっただけです。

やがて、ウォークマンは世界中で大ヒットし、次から次へと新しいモデルが発売されました。ウォークマンの登場は、音楽を楽しむスタイルを変えてしまったわけですから、世界中に大きなインパクトを与えま

した。それは、後に続いた他社のヘッドホンステレオを、人々が皆ウォークマンと呼んだことでもわかります。

82年、イギリスの王立芸術院からアルバートメダルをいただいたとき、私は受賞後のスピーチで「ソニーはいろいろ新しい製品をつくってきましたが、実は製品だけに限りません。言葉もイノベートして、ウォークマンを英語にしていきました」と言って大喝采を浴びました。そして、なによりうれしかったのは、世界で一番権威のあるイギリスの辞典「オックスフォード・イングリッシュ・ディクショナリー」に「ウォークマン」が載ったときです。

これで「ウォークマン」は英語として認められたんです。私たちは、この10年間に五千万台のウォークマンという製品、言葉、そしてそれまでなかった音楽の聴き方というものを、世界中の人々に提供してきました。これは、大いに誇るべきことだと思います。

ウォークマンのすばらしさは、そのプロダクトプランニングにあります。カセットプレーヤーもヘッドホンも、すでに、世の中にありました。にもかかわらず、ウォークマンがこれだけヒットしたのは、プロダクトプランニングに大変なクリエイティビティがあったからに他なりません。新しい発明、発見も大切ですが、既存の技術を使って、まったく新しい商品を考え出す知恵があれば、一つのインダストリーとして立派に成長するのだということをウォークマンは実証しました。

## 13.6 ウォークマンの進化

「ウォークマン」という呼び名で登場したヘッドホン・ステレオ1号機は、ハンディー型録音機TCM-100をステレオ再生機に改造することで製品化されている。売れるか否かについて意見が分かれる中、リスクを抑えた製品開発として既存機種を最大限活用した設計が採用された。筐体を完全流用するため、デザイン的には青い外装で新しいイメージを訴えた以外は、既存機種とほぼ同じ外観であったが、付属のヘッドホンは、たまたま同時期に開発、商品化が進んでいた小型・軽量の斬新なタイプを採用することができた。こうして発売されるとそのコンセプトが圧倒的な支持を得て、瞬くうちに超人気商品になってしまうのである。1号機TPS-L2の大成功を受けて、直ちに再生専用機としての新機種が企画されたが、ヘッドホン・ステレオのコンセプトを全面的に打ち出した斬新なデザインが求められたのは当然であった。ウォークマンが

登場した1979年当時、単体の小型テープレコーダーの市場はラジカセなどに比較して小さく、専用デバイスに新たな開発投資が行われる状況ではなかったので、既存デバイスを使いながら設計的に小型化とデザイン対応を追及し、1981年にWM-2（図13.3）という2号機が発売された。この機種はウォークマンとして専用に設計された最初の機種で、ヘッドホン・ステレオという商品コンセプトと将来形を明示した重要なモデルであり、これ以後、ソニーだけでなく多くのメーカーが「小型・軽量・長時間」という製品開発競争を繰り広げ、ヘッドホン・ステレオによって音楽リスニングのあり方が根本的に変わっていったのである。



図13.3 ソニーWM-2（1981年）<sup>3)</sup>  
ヘッドホン・ステレオとして専用設計された最初のウォークマン

## 13.7 小型化への挑戦

ヘッドホン・ステレオの人气が定着してくると、ポータブル機にとって最大のアピールポイントである小型・軽量化を追及する競争が激しくなってくる。

テープの大きさは決まっているので、それ以上に小さくすることはできないものの、テープを入れるケースと同じサイズが一つの目標として考えられた。しかし従来のテープレコーダー設計の範疇では到底不可能な大きさであった。カセット・ケースサイズを実現するための最大のネックは、モーターと電池の大きさであったが、ソニーでは再生専用機という特性を最大限利用することで究極サイズに挑むことになった。コンパクト・カセットはヘッドを挿入する部分とテープが巻かれている部分で厚さが異なり、片側1.5mmくらいの段差がある。この部分にモーターを入れることが最初の発想であり、超薄型の専用ブラシレス・モーターが開発された。電池は単三型2本が標準的な設計だったが、モーターの磁気回路等が細かく検討されて1本での駆動を可能とする設計を完成させた。当然、増幅部も元電圧1.5Vで動作するようなアンプ設計が新たに開発された。1本とはいえ単三電池の収納はそう簡単ではないが、ここで再生専用機の特性を生かし、本来なら消去ヘッドがある部分に電池を納めることで解決を図った（図13.5）。こうして究極の大きさが達成されたが、テープを装着して使うときには、この電池収納部を含むヘッド基台部分を引き出して使うという、少々ギミックも当時のデバイスを考えとやむを得ないものであった。1983年にカセットケース・サイズ1号機のウォークマンWM-20（図13.4）が発売されたが、そのサイズは非常にインパクトを与えるものであり、ウォークマンの小型化の歴史の中でもエポックメイキングなものであった。

使用時にはメカを少し引き出して使うというのは、真にカセット・ケースと同じ大きさを実現したとはいえないので、小型化への挑戦は完全なカセット・ケースサイズを目指して続けられた。単三電池はどうしてもサイズ上のネックになるので、薄くて充電式



図13.4 ソニーWM-20（1983年）<sup>4)</sup>  
カセット・ケースサイズ1号機

の「ガム型電池」を新たに開発した。またヘッドは奥行きを縮めた特殊形状の専用品を新たに起こすなど、デバイスレベルから小型化に適した開発が行われた。ヘッドホン・ステレオの市場が拡大し、大きな開発投資が経済的に十分見合うことが確信できるようになってきたので、このような新規デバイスの開発が積極的に行われ、商品の魅力をさらに高めるという好循環を生んだのである。1985年にはこれらの新規デバイスを搭載し、真のカセット・ケースサイズを実現したWM-101（図13.6）が発売され、サイズ競争はほぼ最終段階に達した（図13.7、図13.8）。この後、機能・性能の向上、機種バリエーション増加、デザインの進歩等々、ウォークマンはさまざまな進化を続けながら長い間、ポータブル・オーディオ商品として愛され続けた。

コンパクト・カセットのテープレコーダーとしての基本性能の向上や、新たな技術規格の策定と標準化は録再機であるカセット・デッキを舞台に続けられ、厳しい仕様の中で非常にレベルの高い録再性能を実現していったが、ヘッドホン・ステレオは再生専用機という特性を生かして、徹底した小型化に力を集中できたので非常に魅力的な商品を実現できたのではないかと思われる。もちろんヘッドホン・ステレオの成功は、音楽リスニングのスタイルを根本的に変えた、コンセプトそのものがもたらしたことは間違いない事実である。

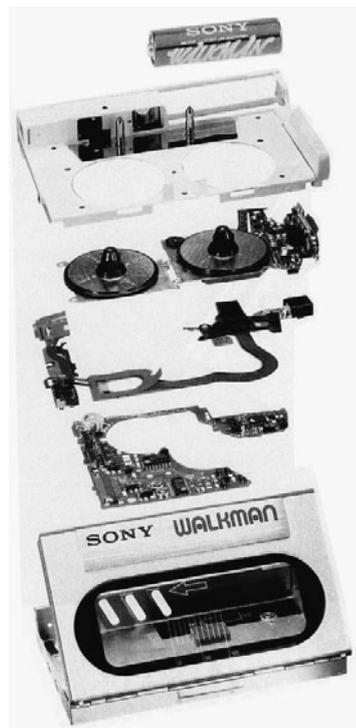


図13.5 WM-20構造<sup>5)</sup>



図13.6 ソニーWM-101（1985年）<sup>6)</sup>  
ガム型電池の搭載1号機

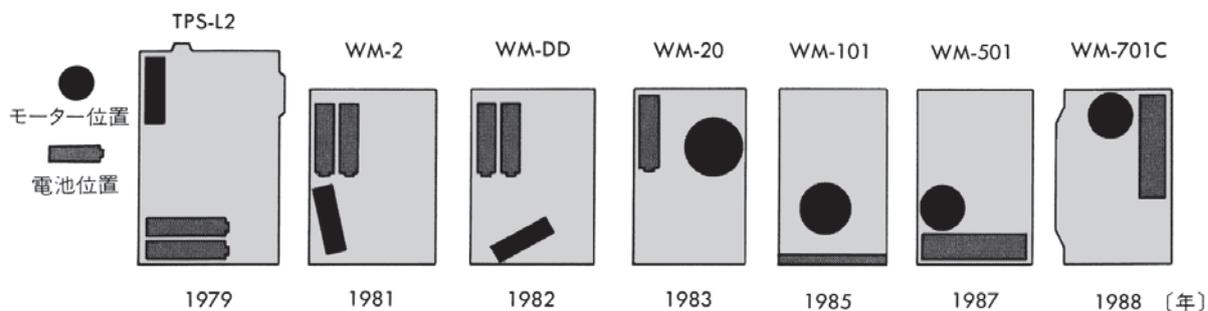


図13.7 ウォークマンのモーター、電池位置の変化<sup>7)</sup>

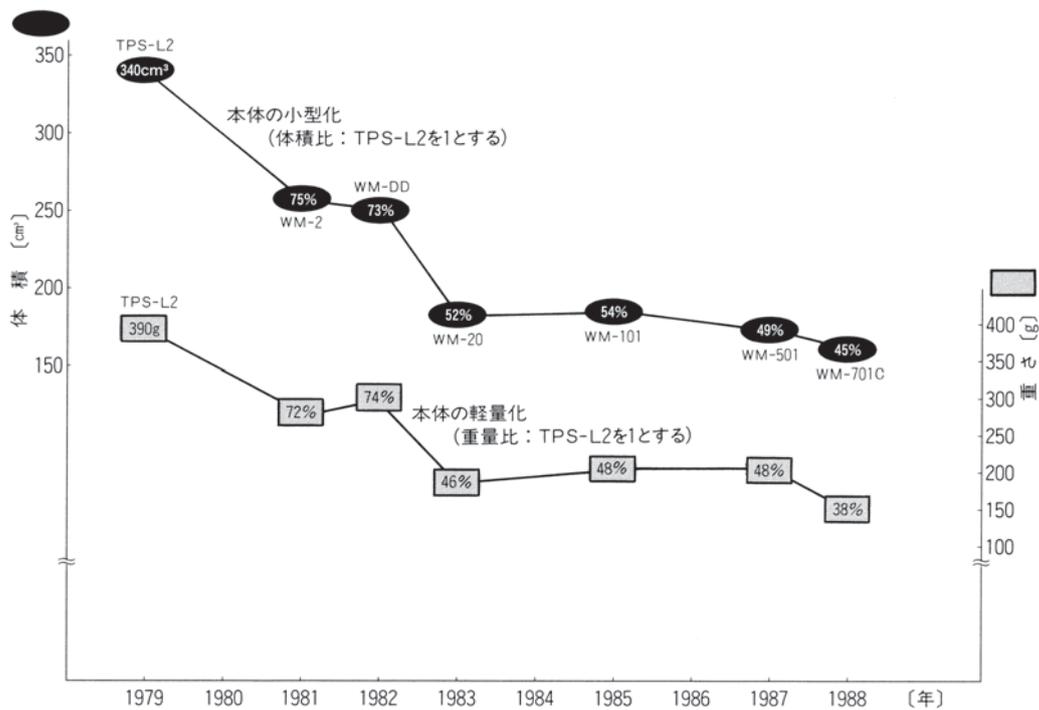


図 13.8 ウォークマン小型・軽量化の歴史<sup>8)</sup>

## 13.8 生産革新

ウォークマンは誕生以来、小型化や消費電力の低減、音質の改善など機能・性能の向上にコストを振り向け、商品力の強化によって比較的高価格を維持してきた。日本では、このように高性能で、小型で洗練されたデザインを訴求する機種が受け入れられたが、海外では少々大型で簡素な機能でも、価格が安い機種がよく売れるという市場構造が形成され、後発メーカーの低価格機が大きな市場占有率を占める状況が続いていた。1980年代の中ごろ、ソニーはこの低価格帯にも強い商品を投入することを目論んで、980円位で売られていた「レンズ付きフィルム」(当時は「使い捨てカメラ」とも呼ばれていた)みたいなウォークマンを作ろう、という目標を掲げ「P-プロジェクト」と呼ぶ活動を発足させた。

徹底したコストダウンのために、従来のテープレコーダーのようなメカ部と電気部を別々に組み立てて合体する、という構造を捨て、電気回路が載るプリント基板に直接メカ部品を組み込み、メカシャーシを省略する構成が考え出された。このような構造とすること、機構部品のプラスチック化を大幅に取り入れ、部品点数を従来比ほぼ半分にすることに成功した。同時に自動化を前提にした一方向組み立てを実現できる設計を追及し、4台分を一枚のプリント基板上に組み

立て、最終的に基板を分割することで最終製品を得る、という組み立ての合理化も達成した。こうして従来機の約半分のコストを達成し、国内生産でありながら、世界市場に向けた低価格帯商品のラインアップを充実させることができたのである。

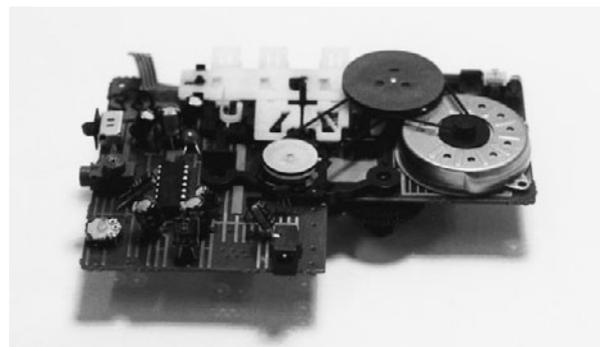


図 13.9 P-プロジェクトのメカニズム<sup>9)</sup>

### 引用

- 1) パナソニック株式会社 提供
- 2)、3)、4)、5)、6)、9) ソニー株式会社 提供
- 7)、8) 「ウォークマン10周年記念誌」ソニー(株) 1989年

# 14 | デジタル・オーディオ・テープレコーダー (DAT) の開発

## 14.1 デジタル・オーディオの萌芽

コンパクト・カセットは1970年代から80年代にかけて、活発な技術開発が行われ、民生用の磁気録音システムとしては十分な性能を持つ完成の域に達したといっていよう。さらに1979年の「ウォークマン」の登場は、コンパクト・カセットの用途を飛躍的に拡大させ、ポータブルオーディオという新しいジャンルのオーディオ商品の確立と発展に、なくてはならないアイテムともなったのである。同じころデジタルオーディオの実用化に向けての開発が具体的な成果をあげつつあり、コンパクト・カセットシステムもデジタルへと進化するのは当然の流れと考えられるようになった。結果としてDAT（民生用R-DATのこと）という形に結びついていくのだが、オーディオのデジタル化は磁気テープを使った録音システムの開発がその出発点であり、DATの開発ヒストリーはデジタルオーディオにとって非常に重要な位置を占めている。

1960年代の後半、オーディオ信号の記録再生にデジタル技術を応用する研究がNHKの技術研究所で中島平太郎の指導の下で始まった。FM放送が実験放送の段階を終え、本放送が開始されるという話が出てきたころである。ステレオ化が可能で、本質的に音質がよく、音楽愛好家やオーディオマニアにその魅力を高く評価されつつあったFM放送ではあったが、その音質はまだまだ十分とはいえ改善の余地は大きいと考えられており、FM放送の音質向上という研究テーマが日本におけるデジタル・オーディオ開発の出発点となった。まずは現状把握から着手、FM放送を実現しているあらゆる要素、すなわち番組制作から送出システム、受信システム等々について全て洗い直して再評価を行った結果、集音・編集等の制作および送出に使われているマスターテープレコーダーが全体の性能を左右していることが明らかになり、このマスターレコーダーの性能改善がFM放送の音質向上に最も重要な課題であるということがはっきりしてきた。図14.1には収録から送出までの各段階でのダイナミックレンジを並べてあるが、破線で囲んだ磁気録音機が最も小さく、系全体の性能を制限していることが分かる。当時のマスターテープレコーダーはアナログ記録ではあるものの、業務用として優れた性能を持つものであり、有名な音楽スタジオなどにおいても音質的に

高い評価を得ているものは多々存在していた。これら既存のマスターテープレコーダーの性能を上げて活用を計るべく、テープ・ヘッドなど基幹部品や走行系などハード面の改良、最適記録レベルの変更など運用面での工夫等々あらゆることが試されたが、改善のレベルは小さく、これらの延長線上には大きな期待はできないということを示す結果しか得られなかった。

アナログ方式の従来機の限界がはっきりしてくると、全く異なる解決策がどうしても必要になるが、同じ研究所内からデジタル技術をオーディオに応用してみようかという提案が出てきた。当時のデジタル技術はコンピューターや通信回線技術で使われ始めており、オーディオの記録に応用した場合、期待できる性能は従来のアナログ機器をはるかに凌駕することが理論的に予測できた。信号波形を数値として記憶する、というデジタルオーディオ記録の考え方は比較的シンプルであるものの、実際の機器として実現するのはそう簡単なことではなかった。テープレコーダーとして記録せねばならないデータ量は膨大で、アナログ情報に比べてはるかに大量の情報を非常に速い速度で記録再生することが必要になるが、従来のアナログテープレコーダーではこのような要求には全く対応できない。この課題を解決するために、当時業務用として開発されていたビデオテープレコーダー（VTR）を応用する方法が考えられた。VTRは映像信号を記録するのが目的であり、音響用のテープレコーダーに比べて大量の信号を高速で記録するために回転ヘッド技術が使われていた。このVTRメカニズムにA/D、D/Aコンバーターや信号処理回路などを組み合わせると1967年には最初の試作機が完成する（図14.2）。この試作機はモノラル機であったが、その音の素性はデジタルオーディオの大きな可能性を感じさせるのに十分なものであり、開発チームは実用化を目指してさらなる改良に努力し試作2号機をステレオ機として完成させた。1969年5月にはNHK総合技術研究所（現NHK放送技術研究所）の公開イベントで一般観客に対する再生デモが行われ、ノイズがなく、みずみずしい音は多くの業界関係者や一般観衆を驚嘆させた。ちなみにデモ曲はNHK交響楽団によるリムスキー・コルサコフの歌劇「金鶏」の序曲、まさにデジタル・オーディオの幕開けを告げるかのような選曲であった。

デジタル・オーディオの一般公開は大成功であった

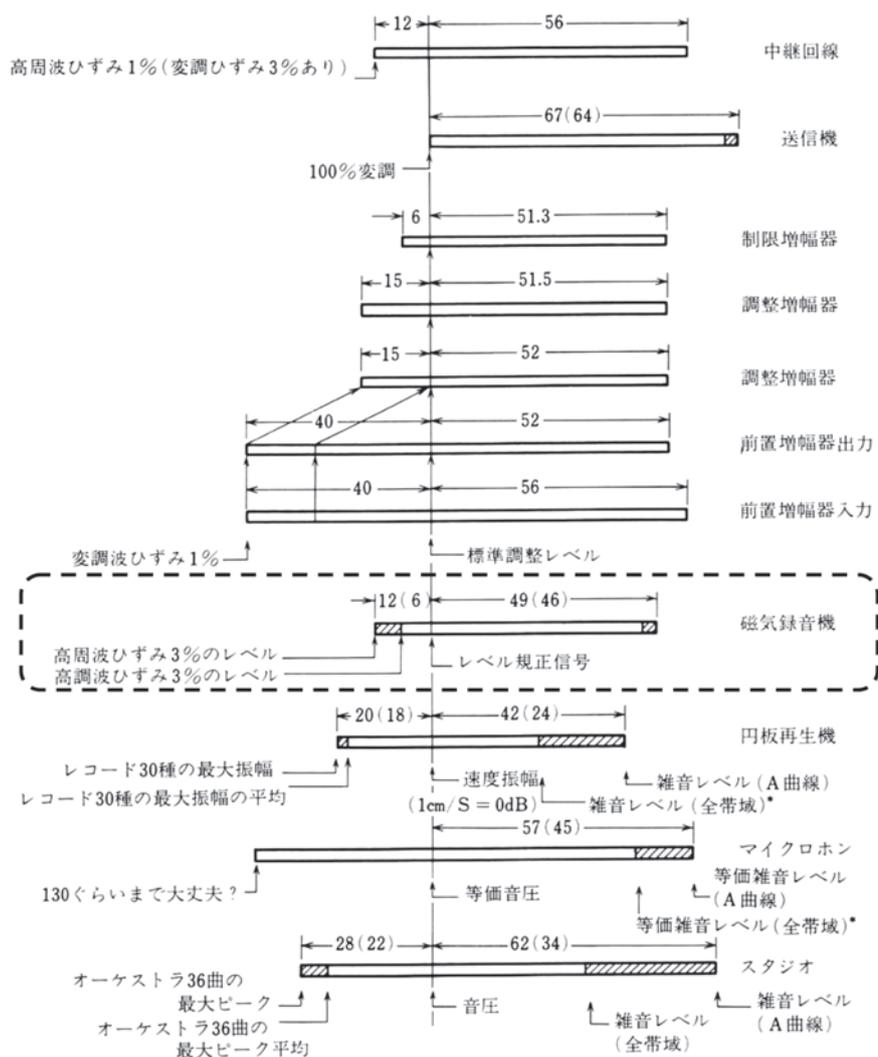


図 14.1 FM 放送システム全体のダイナミックレンジ想定図<sup>1)</sup>

が、編集手法の未整備、デバイスが未熟で小型化が困難、デジタル特有のノイズ対策（これは誤り訂正の不備によるところが大きいと思われる）等々、マスターレコーダーとして放送業務での実用に供するには完成度が足らず、解決すべき課題を考えると膨大な開発リソースが必要と判断されたのであろうか、NHK 技研でのデジタルオーディオレコーダーの開発はひとまずペンディングとなってしまった。しかしデジタルオーディオの可能性と技術的興味から、ダイレクトカッティングによるレコードの高音質化に取り組んでいた日本コロムビアがこの開発成果を引き継ぎ、マスターレコーダーとして実用化にこぎ着けた。実用機は2インチテープを使ったいわゆる4ヘッドVTRを記録機器とし、サンプリング周波数47.25kHz、量子化数13ビット直線という仕様の機械を完成させた。その後、このデジタルマスターテープレコーダーを収録・制作

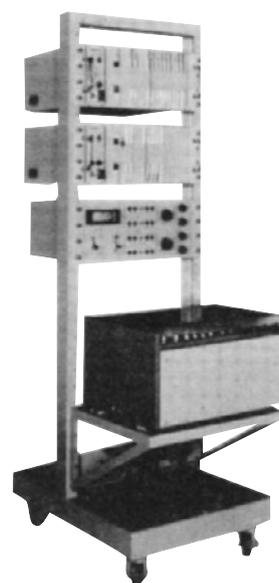


図 14.2 デジタル・オーディオ録音機 試作1号機<sup>2)</sup>

に使ったLPレコードが、1972年に「PCMレコード」(図14.3)と名付けられて発売されることになり、その優れた音質が高い評価を受けて、オーディオ愛好家の間で一世を風靡した。



図 14.3 日本初のPCMレコード(1972年)  
日本コロムビアが自主開発したデジタル録音機をマスターレコーダーとして使ったレコード

## 14.2 業務用固定ヘッド機の開発競争

1969年の技研公開でのデモで初めてデジタルオーディオの大きな可能性に驚愕し、デジタル・オーディオ・テープレコーダー(DAT)の開発成果に刺激を受けたこともあって、1970年代初頭に大手電気メーカーでデジタル式の業務用マスターテープレコーダーの開発が急加速する。レコードスタジオ等の音楽ソフト制作現場では、マルチトラック録音やミキシング作業の複雑化など、ソフト作成の技術が高度化してきており、それに伴ってアナログ方式の従来機器以上のダイナミックレンジや高いS/N比、より優れた音質レベルが求められるようになってきた。またオーディオというジャンルが一つの産業として飛躍への道を歩み始めたころでもあり、オーディオ機器の製造メーカーにとっても、機器の評価、解析のために高度な記録再生装置が不可欠な機材と考えられるようになってきた。こうした要求を背景として業務用のDATの開発競争が本格化し、1980年代に入る直前にはかなりの完成度を有する複数の方式が提案されることになる(表14.1)。このころ提案された方式はほとんどがオープンリール型のテープ駆動方式に多数の記録トラックを持つヘッドを組み合わせた「固定ヘッド式」であり、これは従来のアナログ式マスターレコーダーとよく似た形であった。日本ではソニー、三菱、日立、松下など大手電気メーカーがNHKとの連携も含めて積極的

に開発を進めていくが、海外では英国のBBCで1972年ごろ、通常のアナログ式テープレコーダーと同様の固定ヘッドを使ったデジタル・レコーダーの開発・試作が進められていた(図14.4)。この技術は米国の3M社に引き継がれ、1インチ幅テープを使った32チャンネル機と1/2インチ幅テープを使った4チャンネル機として商品化されたが、非常に高価であったことと故障が多いことなどがあって、数年で製造は中止された。また1977年には米国のサウンド・ストリーム社がデータ・レコーダーを改造して4チャンネルのDATを開発・発表したが、これも商業ベースには乗らず数年のうちに姿を消していった。

VTRの回転ヘッドのメカニズムを使って始まったDATではあるが、固定ヘッド式の開発が多数を占めたのは、マルチトラック録音作業や編集作業を考慮したとき、固定ヘッド式の方が有利であるとの判断があったと説明されている。しかしオーディオ屋というのはハード開発者もソフト制作者もいくぶん保守的で、VTR用に発達してきた回転ヘッドを使ったメカニズムそのものや、使い勝手に対する違和感、さらにはオーディオテープレコーダーはかくあるべしといった思い込みが根底にあったのではないかとともに思える。表14.1に各社から発表された業務用固定ヘッド式デジタルテープレコーダーの方式を示したが、互換性を含めた最低限の共通化は必要であろうということからAESの場で話し合いが行われ、1983年にDASH(Digital Audio Stationary Head)フォーマットがまとまった。また1985年にはDASHに競合する形でPD(Professional Digital)フォーマットも提案され、しばらくの間デジタルマスターレコーダー界で競争を繰り広げた。どちらの方式も日本メーカーが主導して開発されたものであり、業務用デジタル・オーディオ・テープレコーダーは完全に日本の技術が世界をリードしていったといっても過言ではない(図14.6)。この技術的蓄積とヘッドホン・ステレオやラジカセ、小型ステレオなど新しいオーディオ機器の成功が、日本メーカーに民生用デジタル・オーディオ・テープレコーダー(民生用DAT)の開発を主導させる大きな要因となっていったと考えられる。

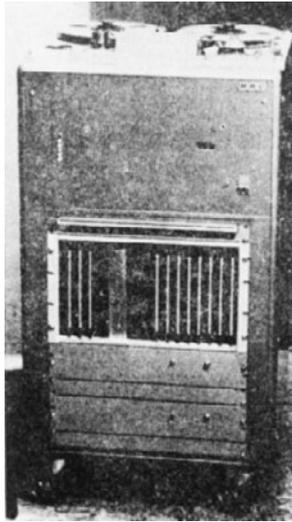


図 14.4 BBC の固定ヘッド式 DAT 試作機 (1972 年)<sup>3)</sup>

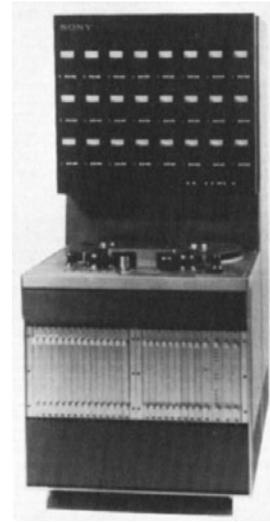


図 14.5 ソニー製 24 チャンネル固定ヘッド式 DAT 試作機 (1977 年ごろ)<sup>4)</sup>



図 14.6 ソニー PCM-3324 DASH フォーマット 24 チャンネル DAT<sup>5)</sup>

表 14.1 業務用固定ヘッド試作機比較<sup>6)</sup>

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
発表年	1972	1974	1975	1976	1977	1978	1978	1978	1978
発表者	BBC	ソニー	日立	三菱	サウンド ストリーム	松下	ソニー	三菱	東芝
テープ幅(インチ)	1/2	2	1/2	1/4	1	1/4	1/4	1/4	1/4
チャンネル数	2	2	2	2	4	2	2	2	2
トラック数 (チャンネル当り)	8	28	6.5	4.5	6	30	3.5	4	16
テープ速度(cm/s)	38	76	38	38	76	38	38	38	38
サンプリング周波数 (kHz)	32	52	35.7	48	50	49.152	50	44.1	50
量子化数 (bit)	13	13	12	13	16	12・7折線	12	15	14・7折線
変調方式	MFM	NRZ	MFM	MFM	MFM	Biφ	MFM	MFM	Biφ
記録線密度(kbpi)	4.4	1.73	5.55	12		3.3	17.9	17.64	3.3
符呼誤り制御	2ビット パリティ	2重巻き	パリティ補 間	CRC補正		2ビットパリティ 2重巻き	隣接符号	CRC隣接符 号	1ビットパリティ 前値ホールド

## 14.3 PCM プロセッサという発想

業務用の固定ヘッド式 DAT は、録音スタジオなど音楽制作現場では必須の設備として数多く導入されることとなったが、ソニーの DASH 機と三菱の PD 機が市場で競合する形になり、業務用録音機分野に君臨した欧米製のアナログ式マスターレコーダーやマルチチャンネル・テープレコーダーを急速に置き換えていくことになった。デジタル化が進んだ時期に日本勢が大きな力を発揮できた原因を考えてみると下記のような要因があげられよう。

- ・精密機械加工技術を有する部品メーカーが多く育ち、高度なテープ走行系の構成に必要な、高精度かつ特殊な機構部品の開発、入手が可能。
- ・多数の狭トラックコアを一つのヘッドに組み込む、優れたヘッド加工・組み立て技術。  
(半導体製造技術による、薄膜ヘッドなども含む)
- ・デジタル記録に適した優れた磁性体とテープの開発、生産技術。
- ・高密度で高機能な専用半導体の開発・製造技術。  
(信号処理、AD/DA コンバーター、制御用マイクロプロセッサ、サーボ用 LSI 等)
- ・誤り訂正、変調方式など信号処理の論理面の研究進捗とハード化への早い対応。
- ・一般電子部品、機構部品の高精度化

業務用の世界ではテープレコーダーのデジタル化が進み、80年代半ばまでには世界中のスタジオや放送局の機材が大きく入れ替わっていくことになるが、民生分野でもデジタル・オーディオの音にふれる機会が広がり、音響愛好家の間でデジタル・オーディオの評価が徐々に高まっていったものの、民生用への展開はかなり難しいのではないかと考えられていた。業務用 DAT は従来のアナログ式テープレコーダーに比べて、はるかに多くの部品を使う非常に高価な機械であったし、使い勝手の面でもオープンリール式は民生用としてはさすがに時代遅れで、普及機に結び付ける方向は見いだせなかった。業務用固定ヘッド機を開発し、前述の DASH フォーマットや PD フォーマットとして業務用市場で大きな地歩を築いたソニーや三菱も、民生用への展開には手こずっていた。

ちょうどそのころ、家庭用 VTR の開発が最終段階に入っており、1975年には「βマックス」、翌1976年には「VHS」が相次いで発表・発売され、家庭用 VTR が大型商品としての期待を背負ってデビューした。1~2時間のテレビ番組を録画できる機械が手の

届く価格で登場したわけだが、1/2インチ幅テープで比較的小さなカートリッジ式にするなど、使い勝手も考慮された優れた規格であったといえる。これに先立って1971年には「Uマチック」というカートリッジ式 VTR も実現されていた。テープは3/4インチとβやVHSより幅が広く、カートリッジや機械もやや大型で価格も高く、家庭用として普及するには至らなかったが、放送局などでの業務用途には使われ始めており、ENG (Electronic News Gathering 電子式ニュース取材) の先導役を果たしていた。

この家庭用 VTR を記録機器として使い、デジタル・オーディオ・レコーダーを実現することができないか、という考えがソニーの技術研究所内で持ち上がる。NHK で最初に試みられた DAT は業務用 VTR を使っていたが、VTR のメカニズムは流用したものの、デジタル信号記録用に VTR そのものにも手を加えて実現していた。家庭用 VTR はいずれ価格も下がってくるものと予測されたが、DAT 専用の改良を加えることは量産効果によるコストメリットを享受できないことが推測される。そこでデジタル・オーディオ特有の回路部分のみを独立させ、VTR には一切手を加えず、単なる記録機として使うことができれば、一般ユーザーにも手の届く価格で家庭用の DAT が実現できるのではないかとこの発想であり、早速実現に向けて開発が始まった。VTR はテレビ信号を記録することが目的であるため、水平帰線や垂直帰線期間という記録のブランク部分が存在するため、オーディオ信号のような連続信号の記録には原理的に向いていない。デジタル・オーディオの場合はオーディオ信号をデータとして扱うので時間軸の圧縮・伸張は自由になるわけだが、実際に開発を始めてみるとデジタルデータの操作に必要なメモリーの価格が高くて予想以上のコストがかかるなど、想定外の多くの苦労があった。また誤り訂正という概念も未熟であったため、VTR で起こるドロップアウト (信号の欠落) が、映像では大きな破綻にならないようなものでも致命的な雑音を引き起こすということも実際に起こった。最新のデジタル技術から見れば未熟なところは多かったが、VTR と直接つなげて使う民生用 PCM プロセッサが、1977年にソニーから発売され、一般ユーザーへのデジタル・オーディオ機器の普及が緒に就いたのである (図 14.7)。



図 14.7 世界初の PCM プロセッサー ソニー PCM-1 (¥480,000) (1977年)<sup>7)</sup>

## 14.4 民生用 DAT の誕生

PCM プロセッサの登場によって、業務用の領域に限られていたデジタル録音が家庭でも楽しめるようになった。この機械の登場によって一般のユーザーの間でデジタル・オーディオに実際に触れる機会がどんどん増えてくると、その音質のレベルの高さがオーディオ誌などで盛んに取り上げられるようになり、デジタル・オーディオの魅力と将来性が確実なものとして認識、期待されるようになってきた。同じころ、CD (コンパクト・ディスク) に結びつくデジタル・オーディオ・ディスクの方式論争や、技術開発の進捗報告がオーディオ界で大きな話題として盛んに取り上げられていた。デジタルに対する期待の高まりにつれて、民生用磁気録音機器の盟主であるコンパクト・カセットもデジタル化を目指すべき、という主張は自然と高まってくる。実は CD の開発と同時期にオーディオ機器各社は、民生用デジタルテープレコーダーの研究も進めていたが、1980 年代初頭ころはまだまだ研究室レベルの完成度であった。この民生用デジタルテープレコーダーを目指す開発においても、オーディオフィーリングを重視する固定ヘッド形式 (S-DAT) と、VTR という先行技術の利用で完成度を高めようとする回転ヘッド方式 (R-DAT) の競争があった (図 14.8、図 14.9)。

1982 年に CD が市場に導入され、従来のアナログ・レコードのデジタル化が現実のものとなり、たちまちのうちに音楽収納媒体としての地位を確立していく。CD と CD プレーヤーは音質の良さだけでなく、形状の新鮮さ、TOC データの利用などデジタル機器ならではの優れた操作性、ランダムアクセスの便利さなど、商品としての総合的な魅力にあふれたシステムであった。CD 導入の成功に勢いづけられ民生用デジタル録音機の開発競争が一気に加速するが、このころから DAT (デジタル・オーディオ・テープレコーダー)

という呼び方が、民生用のデジタル録音機を指す用語として定着してきたように思われる。

デジタルオーディオとしての圧倒的な高音質に加えて、サブコードと呼ばれる付加情報の記録エリアを新たに設け、テープレコーダーとしての利便性を大幅に高めようという開発者の思いは、非常に高度で欲張ったスペックの提案につながっていく。基本的な性能はサンプリング周波数 48kHz、量子化ビット数 16bit と CD を凌ぐものであり、さらに 2 時間の連続録音をコンパクト・カセットより小さなカートリッジで実現するという、まさに夢の録音機であったが、ばらばらに開発が進められると互換性のない方式が乱立することになり普及を妨げかねない。コンパクト・カセットの成功は厳密な互換性の維持こそが大きな要因であり、統一規格の重要性は関係各社の共通認識でもあった。このため規格統一を目指して 1983 年に「DAT 懇談会」が業界内で組織され、回転ヘッド方式 (R-DAT) と固定ヘッド方式 (S-DAT) それぞれについて統一規格の策定と両方式の比較検討を行った。約 2 年後の 1985 年に、さまざまな検討と実験結果にもとづいて「S-DAT」、「R-DAT」それぞれの技術仕様 (表 14.2、14.3) をまとめ、さらに懇談会は両方式を比較した結果として、短期的な実現性の観点から R-DAT の優位性を認めるコメントを示した。この結果、まず R-DAT が民生用 DAT として商品化されることとなったのである (図 14.10、図 14.11)。次項で民生用 DAT の方式ごとの開発について触れる。

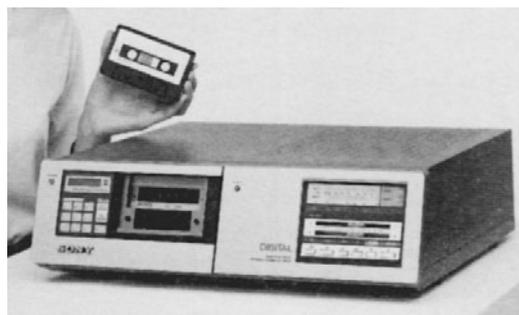


図 14.8 ソニー S-DAT 試作機 (1981年)<sup>8)</sup>



図 14.9 ソニー R-DAT 試作機 (1982年)<sup>9)</sup>

表 14.2 S-DAT 主要諸元<sup>10)</sup>

モード	記録・再生モード				プリレコーデッド
	標準	オプション1	オプション2	オプション3	
(1)チャンネル数 [ch]	2	2	2	2×2	2
(2)サンプリング周波数 [kHz]	48	32	32	32	44.1
(3)量子化数 [bit]	16	16	12	12	16
(4)データトラックの数	20	20	20	10×2	20
(5)テープ速度 [cm/s]	4.76	3.17	2.38	4.76	4.37
(6)伝送レート [MBPS]	2.4	1.6	1.2	1.2×2	2.205
(7)線記録密度 [kBPI]	64	←	←	←	←
(8)エラー訂正コード	二重リード・ソロモンコード C2:(29, 27, 3) C1:(40, 32, 9)				
(9)変調方式	8-10 R				
(10)冗長度 [%]	36	←	←	←	←
(11)サブコードレート [kBPS]	128	85.3	64	64×2	117.6
(12)IDコードレート [kBPS]	10	6.66	5	5×2	9.19
(13)カセット寸法 [mm]	86×55.5×9.5				
(14)最大記録時間 [分] (テープ厚10μm)	90	135	180	90	98

表 14.3 R-DAT 主要諸元<sup>11)</sup>

モード	記録・再生モード				再生専用モード	
	標準 (48 k モード)	オプション1 (32 k モード)	オプション2 (32 k-LPモード)	オプション3 (32 k-4 CHモード)	ノーマル・トラック (44 kモード)	ワイド・トラック (44 k-WTモード)
チャンネル数 (CH)	2	2	2	4	2	2
サンプリング周波数 (kHz)	48	32	32	32	44.1	
量子化ビット数 (bit)	16(リニア)	16(リニア)	12(ノンリニア)	12(ノンリニア)	16(リニア)	16(リニア)
線記録密度 (kbpi)	61		61		61	61.1
面記録密度 (Mbit <sup>2</sup> )	114		114		114	76
伝送レート (Mbps)	2.46	2.46	1.23	2.46	2.46	
サブコード容量 (kbps)	273.1	273.1	136.5	273.1	273.1	
変調方式	8-10変調方式					
訂正方式	2重化リード・ソロモンコード					
トラック方式	エリア分割ATF					
カセットサイズ (mm)	73×54×10.5					
記録時間 (分)	120	120	240	120	120	80
テープ幅 (mm)	3.81					
テープ種類	メタル・パウダー					酸化物テープ
テープ厚 (μ)	13±1 μ					
テープ速度 (mm/s)	8.15	8.15	4.075	8.15	8.15	12.225
トラック・ピッチ (μ)	13.591				13.591	20.41
トラック角度	6° 22'59.5"					6° 23'29.4"
標準ドラム仕様	φ30 90° ラップ					
ドラム回転数 (r.p.m)	2000		1000	2000		2000
相対速度 (m/s)	3.133		1.567	3.133		3.129
ヘッド・アジマス角	±20°					
備考	標準記録モード 必ず装備する	PCM放送記録用オプション	長時間記録用半速オプション	4ch用オプション	ミュージックテープ専用モード 再生のみで記録はできない。必ず装備する	ミュージックテープ専用モード コンタクトプリントに適し再生専用。必ず装備する



図 14.10 R-DAT 1号機 ソニー DTC-1000ES (1987年)



図 14.11 ポータブル型 R-DAT ソニー TCD-D3

## 14.5 民生用 DAT 開発における方式競争

1970年代の後半、テープレコーダー技術の蓄積に自負を持っていたソニーの技術研究所では、民生用 DAT の研究・開発が本格化しつつあった。当時、民生用 DAT をどのような技術で実現するか、という問題はオーディオ技術者の中で議論が盛り上がり、本命はこれだという結論は見えておらず、それだけに技術者間の意見の対立は時として先鋭化することもしばしばであった。ソニーではそれぞれに主張を持つ複数の技術者グループを競わせ、同時並行的に3種類の方式を開発させる道をとっていた。

### 14.5.1 固定ヘッド型

S-DAT の原型となったもので、従来のカセットと同様なテープ走行系を基本に、多数のトラックで同時に記録し、必要な情報量を実現するものである。コンパクトカセットと同じ3.8mm幅のテープに片面当たり、20程度のトラックを記録するために、超精密な記録・再生ヘッドを実現するのがこの開発テーマのポイントである。狭い多数のトラックからきちんと信号を取り出すため、再生ヘッドにはMR効果（マグネトレジスティブ効果）を利用し、テープ上の磁気の変化をMR素子の抵抗変化として取り出すMRヘッドの開発が進められ、記録ヘッドとともに半導体の製造プロセスを利用した「薄膜ヘッド」と呼ばれる新機構が採用された。この製造技術は後に業務用マルチチャンネル DAT 用のヘッドとして実用化される。図14.12にS-DATのトラック・パターンを示した。

このS-DATのアイデアは、その後フィリップス社がDCC (Digital Compact Cassette) というシステムに進化させていく。S-DATではメインのオーディオ・データ用に20のトラックを使うため、非常に正確なテープ走行性と、高度な信号処理が必要であるが、DCCはこのトラック数を半分以下に減らしてヘッドとシステム全体の簡素化を図り、記録密度の低下による性能の制限は「データ圧縮技術」で補い、CD並の音質を得るといって、第2世代のDATである。またカセットをコンパクトカセットと互換性のあるものとして、1台のセットでDCCの録音再生とコンパクトカセットの再生を実現させるという規格であったが、MDとの競争に敗れ、比較的短期間で市場から姿を消した（図14.13）。

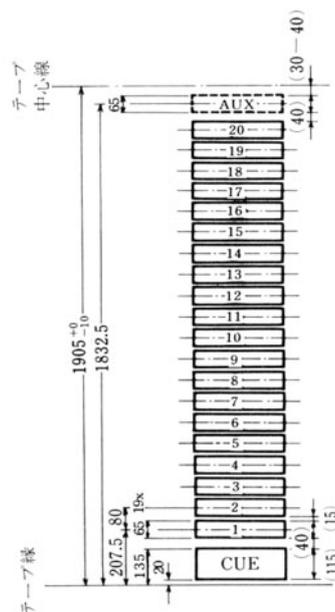


図 14.12 S-DAT トラック・パターン<sup>12)</sup>

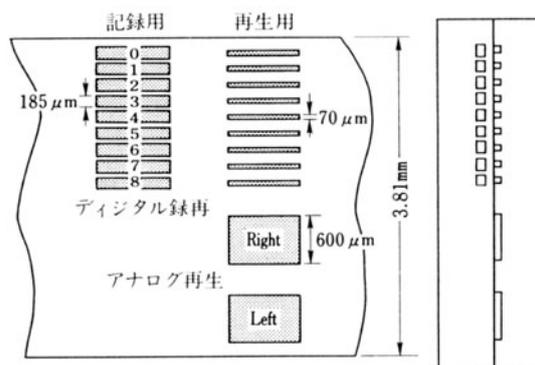


図 14.13 DCC トラック・パターン<sup>13)</sup>

### 14.5.2 回転ヘッド型

いわゆる R-DAT であるが、業界内でこの方式で民生用 DAT を目指していた企業は少数派であった。回転ヘッド型では、ヘッドを含む回転ドラムがキーパーツとなるが、それ以外に全体のメカニズムも全く新規に開発する必要がある。またヘリカル・スキャンというオーディオ機器では経験のないテープ走行系を扱わねばならず、従来のテープレコーダーのみを作ってきたメーカーにとっては、専用メカニズムの開発が大きなネックとなる。一般に新規のメカニズムの開発には試作と経験の積み重ねに時間がかかり、従来品の小改造でメカニズムを準備でき、多チャンネルヘッドの開発に集中できる固定ヘッド方式に比べて開発の敷居が高かったといえる。ソニーでは同じころ 8mm ビデオの開発が進められており、デバイスやテープ駆動

技術など回転ヘッド特有でオーディオ屋にはなじみの薄い技術の習得と活用がやりやすかったということもあり、この方式の DAT 開発も積極的に進められていた。こうした環境を生かして、VTR の回転ヘッド技術をベースにし、オーディオ用途向けに簡素化・小型化など商品的な魅力を考慮した専用メカニズムを開発 (図 14.14)、先行技術を最大限利用して信頼性確保とシステムとしての合理性を追求した開発が行われた。デジタル記録機器という当時としては大きなシステムとして、機能性能の実現と民生用商品として十分な完成度を早い時点で確立したことで、民生用 DAT の第 1 候補と認められ、デッキ、ポータブル、プロ機器など一連の製品が世に送り出された。

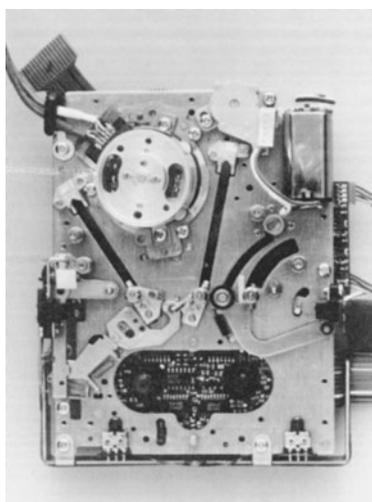


図 14.14 R-DAT メカニズム  
 ドラム径：30mm  
 巻き付け角度：90°  
 ヘッド数：2  
 モーター数：4

### 14.5.3 NT 方式

1981 年には固定ヘッド型 (図 14.8) が、続く 1982 年には回転ヘッド型 DAT の試作機 (図 14.9) が発表され、標準化へ向けて「DAT 懇談会」での検討へと発展していく。こうしてコンパクト・カセットのデジタル化という大きな流れが進んでいく中、もう一つの DAT がソニー技術研究所で着々と開発されていた。デジタル化による高音質化という録音機としての本質的な進化だけではなく、デジタル化という技術進歩を最大限に利用して、テープレコーダーという機械としては達成不可能と思われていたレベルの小型化を成し遂げ、新たな価値を提供しようという野心的な製品を目指していた。これがサンプリング周波数 32kHz、量子化数 12 ビットという性能で、切手サイズの超小型カセットに 2 時間のデジタル録音を実現した NT

システムであり、1992 年に「NT-1」という商品名で発売された。単三電池 1 本を動力源とする非常に小型の筐体に、腕時計のような小型・精密な機構と録音・再生・デジタル信号処理などすべての回路を詰め込んだ機械であった。専用開発されたテープの小ささは驚異的で、1994 年版ギネスブックに「量産されている世界最小のテープ」として掲載されたほどである (図 14.15)。

この機械のために開発されたメカニズムは、デジタルデータの特徴を生かして、信号の書かれた場所 (トラック) を複数回トレースすることによって正確にトラックをなぞっていないでも必要な情報を読み出し、デジタルデータを時間軸に沿って並べなおして正しい信号を得る、というノントラッキングという回転ヘッド方式であった。この Non Tracking の頭文字「NT」が商品名にもなった。また超小型カセットそのものにも多くの工夫が凝らされており、回転ヘッドが載ったドラムそのものをカセットに突っ込むことでメカの小型化を達成するという、ノンローディングという機構も実現した (図 14.16)。また電子回路も含めて低消費電力を追求した結果、単三乾電池 1 本で動作するという驚異的な性能も持っていた。デジタル技術とメカトロニクスをとことん突き詰めた、技術的には非常に意欲的な開発であったが、内容が高度な分だけ時間がかかったことも原因してか、ビジネス的には成功しなかった。発売された 1992 年はミニディスク (MD) が発売された年であり、圧縮技術を使った第 2 世代ともいべきデジタル録音システムが実用化された時であった。このデジタル圧縮技術の威力と将来への展望を実用化して見せた MD は、当時まだまだ高価であった半導体メモリーによる記録媒体の置き換えが「有り得る」と多くの関係者に想起させるきっかけでもあった。



図 14.15 ソニー NT-1 と専用テープ (1992 年)<sup>14)</sup>

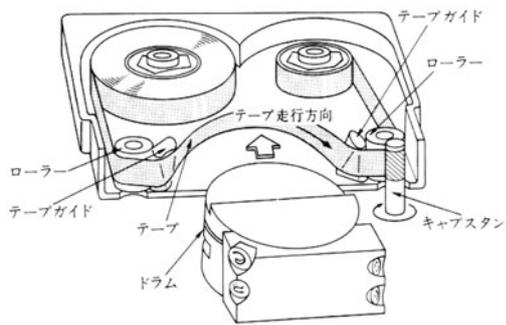


図 14.16 ノンローディング機構<sup>15)</sup>

## 14.6 著作権問題

民生用 DAT の登場はその圧倒的な記録再生能力を考えるとテープレコーダーの歴史においてエポックメーキングな出来事ではあったが、コピーによって元のコンテンツを劣化させることがない、というデジタル記録の特徴から、いわゆるデジタル著作権問題という議論を提起することにもなった。1987年当時、CDの出荷が従来のアナログレコードを追い抜き、レコード業界にとって CD のビジネスは大きな収益源として非常に重要な要素となりつつあった。この CD を音質を損なうことなく記録できる DAT の出現は、音楽コンテンツ関係者にとって大きな脅威に写ったことは否めない。それまでも、レコードをコンパクト・カセットにコピーして、ヘッドホン・ステレオやカーステレオで楽しむ、というテープレコーダーの活用は一般的に行われていたし、日本では家庭内で使う場合に限り私的録音を認める、という音楽著作権の解釈も定着していた。また、家庭用 VTR の登場によって米国で起こされた、いわゆる「 $\beta$  マックス訴訟」が 1984 年に米国最高裁で結審し、家庭用 VTR は無罪という結果になった。コピーが認められたわけではなく、タイムシフトという機能を実現する技術として、消費者が使う VTR は合法という解釈であるが、音楽・映像などコンテンツの権利者はコピーができる機械の大量普及に、ますます神経をとがらせていたのではないかと思われる状況であった。民生用 DAT 機器開発を進めてきたハード側もこの点には配慮し、CD と同じサンプリング周波数 44.1kHz でのデジタル記録はできない仕様で 1 号機を世に送り出したが、コンテンツ側とハード側の合意がない状況ではユーザーの不安や誤解を取り除くことが困難で、DAT のスタートダッシュは少々つまづくこととなった。その後、音楽コンテンツ側とハード側は、この世界初ともいえるデジタル著作権問題について協議を重ね、1990 年までに一定の

合意に達した。合意の骨子は次の 2 点であった。

- (1) デジタル記録時に SCMS という世代制限技術を採用し、無限にコピーができることを制限する。
- (2) 私的録音保証金制度をデジタル録音機器およびメディア（テープなど）に適用するべく各国で法整備等に勤める。

SCMS (Serial Copy Management System) というのは、単にコピーを禁止 / 許可と決定するのではなく、記録する元のソースによって、コピーを禁止したり許可したりする判別を行う。一度記録（デジタル・コピー）されたソースはその元が何であったか、によってデジタル・コピーの許可 / 禁止を判別する、という仕組みである。こうすることによって、保護されるべき著作物（例えば CD）の 1 世代のコピーは許すものの、世代を重ねてのコピーは禁止して、デジタルの特長である「元と同じ品質のコピー品」の氾濫を防ぐという趣旨である。私的録音という消費者の権利を尊重しつつ、デジタル・コピーという著作権者にとっての脅威を緩和するという妥協案であったが、私的録音保証金制度の整備と合わせることによって、史上初のデジタル著作権に関する合意が成立した。

ソニーとフィリップスは CD 発表の前後から、デジタルオーディオ機器間のデータ伝送方式として、一つの統一スタンダードを作っており、SP-DIF (Sony Philips Digital Interface) と呼ばれて業務用機器などで使われていた。CD 発売後、この規格は民生用として整備され、IEC958 (現在の規格名は IEC60958) という国際規格になっていた。具体的な SCMS を働かせるための情報は、この IEC958 規格によって伝送されるオーディオ・データに付随する、付加情報に載せることになっており、再生されているコンテンツ（音楽）の世代情報はここに格納されている。またソース機器を予測できる将来機器も含めて定義し、どの種の機械から送られたデジタル・データかも識別できるようになっており、これらの情報を組み合わせ、デジタル・データを受け取った録音機の振る舞いを定めるわけである。録音機であるから著作物以外の録音もできるのは当然であり、ユーザーが私的に録音した著作権の主張がない素材は、SCMS 機器においてもデジタル伝送、デジタル・コピーが自由に行えることは保障されている。この合意ができたことによって、CD からの 1 世代に限ってのデジタル記録が可能となり、1990 年に DAT は SCMS 対応機として再発売を果たし、オーディオ・マニアやセミプロ、さらには本格的なプロの間で、究極のテープレコーダーとして歓

迎された。その後のMDやDCCなど、より広いユーザー層の開拓を目指した第2世代のデジタル録音機器は、DATで確立されたこの仕組みにのっとなることができ、比較的スムーズに導入されて、短期間で一定の市場を築くことができた。

DATの登場に伴って提起されたデジタル著作権に関する議論は、その後のコンピューター技術の進歩や、映像のデジタル化技術(DVDやBD)においても引き続き議論されることになり、デジタルコンテンツの保護と利用という重要なテーマの出発点となったのである。

## 引用

- 1) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.143
- 2) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.144
- 3) 「オーディオ50年史」、日本オーディオ協会、1986年12月、p.539
- 4) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.145
- 5)、7)、14) ソニー株式会社 提供
- 6) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.146
- 8)、9) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.148
- 10) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.149
- 11) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.150
- 12) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.152
- 13) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.153
- 15) 森芳久 他：「音響技術史」、東京藝術大学出版会、2011年3月、p.154

# 15 | まとめ

今日、音楽リスニングのスタイルは、半導体メモリーを媒体とした小型のポータブルデバイスをヘッドホンで聴く、というのが最も一般的で普及した形といえよう。電池で動作する小型の機器を携えれば、外出先や移動中、さらには家庭内でもヘッドホンで個人的に音楽を楽しめるわけである。このように、いつでも、どこでもパーソナルに音楽を楽しむということが実現したのはそれほど古いことではなく、約30年前に携帯型のヘッドホン・ステレオが登場したときに始まった。このとき登場した「ウォークマン」は、コンパクト・カセット式という最も成功したテープレコーダーを使った再生専用テーププレーヤーであり、音楽リスニングのスタイルを革命的に変え、一つの文化として定着させる歴史的な商品となった。

音楽リスニングは、20世紀の技術進歩を背景に家庭内の娯楽として発達し、関連機器やサービスの産業も大きな成功を収めてきた。音の記録を初めて実現したエジソンの蓄音機からさほど時を経ないうちに、音楽が記録された円盤式レコードを家庭内で楽しむというスタイルができあがり、レコード産業が時代の先端として立ち上がるとともに、音を記録する装置や再生機器が良質な音を目指して盛んに開発されるようになった。その後も円盤式レコードは電気技術の進歩を背景に、高音質化、長時間化を目指した研究が続けられ、1950年代の後半には、ステレオLPレコードという完成形に達し、長らくホーム・オーディオの主役として活躍した。

媒体に機械的に刻まれた音溝によって音を記録するのが蓄音機（レコード）の原理だが、音の変化を電気の変化としてとらえ、誘導される磁気の変化として記録しようという「磁気記録」のアイデアが19世紀の末に提唱され、鋼線式磁気録音機が発明された。磁気録音機は第二次世界大戦前のドイツでテープレコーダーに進化し、戦後、米国をはじめ世界各地で精力的な技術開発が進められた結果、優れた録音装置として完成していったことは本報告書の3章～4章で述べた。我が国においても磁気記録の研究はかなり早くから進められており、交流バイアス法の発見、新規の磁性体の開発等々、他国に比肩しうる優れた研究がなされてきた。こうした研究成果と技術蓄積が、戦後の国産テープレコーダーを大きな産業に育てる基礎となったことは間違いない。1960年代半ばにはコンパクト・カセットが登場し、デファクト・スタンダードヘ

の道を歩み始めたが、当時のオープンリール式テープレコーダーに比べて貧弱な性能しか持たないコンパクト・カセットは、録音機として重要な用途である音楽録音用には適さないと考えられていた。我が国のメーカー各社はこの問題の解決に精力的に取り組み、テープ磁性体の新たな開発、それに対応するヘッド材料、精密な機構設計、音響用小型モーターおよび回転制御技術の開発など、カセットデッキを舞台にして開発を積み重ね、コンパクト・カセットが音楽録音用としても十分な性能を発揮しうることを証明し、ユーザー、メーカー双方にコンパクト・カセットの将来性を確信させたのである。互換性重視の規格運用が短期間での革新的技術の登場を防いだ、という側面はあるものの、限られた条件の中で緻密な開発を積み重ね、非常に優れた性能・機能を実現する手法は、我が国における製品開発の特性に適していたのかもしれない。こうしてコンパクト・カセットの発展に多大な技術的貢献を果たし、自信をつけた日本メーカーは、新規の規格案をまとめる実力を身に付け、1970年代にマイクロ・カセットやエルカセットの規格を独自に策定するまでになった。

トランジスタラジオから始まった日本の音響製品は、1970年代に入るところには多くのオーディオ機器を世界市場に広く浸透させるまでになり、輸出産業としても大きな存在となっていた。このころ、コンパクト・カセット式テープレコーダーにおいては、機構部品および電気部品メーカーの技術力の向上が商品の可能性を広げ、小型・軽量化というテープレコーダーの活躍領域を広げる商品企画と開発が加速された。軽薄短小と呼ばれる製品特性がポータブル・オーディオという概念を強固なものにすると同時に、ラジカセのような複合商品によって、ユーザーの手元にコンパクト・カセットによる音楽資産が蓄積されていったことを背景に、「いつでも、どこでも音楽を楽しめる」という商品企画、すなわち「ウォークマン」が生まれた。ウォークマンはテープレコーダーの一種であるが、「いつでも、どこでも」というコンセプトこそがその本質であり、CD（コンパクト・ディスク）やMD（ミニ・ディスク）へと媒体が進化しても、同じコンセプトの商品が生まれ、愛用され続けたのである。ちなみにソニーの発表によると2009年までの累計出荷台数は、テープ式:2億2千万台、CD:1億2千万台となっている。

コンパクト・カセット機器の伸張を通して、日本はテープレコーダーの技術と商品で世界をリードするようになり、次のデジタル化への進化においては、開発と規格策定を主導する立場に立った。画期的な高音質を可能としたデジタル・オーディオ技術は音響製品を大きく変えることになるが、デジタル化を先導したのはテープ式録音機であり、業務用テープレコーダーの飛躍的な高性能化が実現され、高音質の音楽コンテンツを作るマスターレコーダーとして使えるようになったことが、CDの誕生と発展に大きく貢献した。14章にDAT（デジタル・オーディオ・テープレコーダー）の開発の経緯をまとめたが、民生用のDATでは、アナログ時代には到達不可能な性能がコンパクト・カセットより小型のカートリッジで達成され、究極のテープレコーダー・システムが実現した。これはコンパクト・カセット機器の開発競争を通して日本が獲得し、磨きをかけてきた、テープ・ヘッドなど基本要素の開発力と、緻密なメカトロニクス技術、半導体技術の高度な融合によって実現できた成果といえよう。デジタル・オーディオではアナログに比べて音楽信号処理の自由度が高く、圧縮処理によって媒体容量を削減したり、媒体を介さず音楽データだけをやり取りすることも可能になった。この章の最初に述べた現代的な音楽リスニングもデジタル技術の進歩がもたらしたものであり、また、テープレコーダーの役割も、ハードディスクや半導体メモリーによる記録装置に置き換わったが、音楽の楽しみ方という視点でとらえると、ウォークマンが作り出したコンセプトは本質的に変わっていない。コンパクト・カセットを使ったヘッドホン・ステレオで音楽リスニングのあり方を革命的に変えた様に、我が国の開発力と商品企画力が現在のデジタル・オーディオのあり方を変革し、ユーザーに、予想もしなかった全く新しい経験や楽しみを提供する新機軸を打ち出すことを期待したい。

## 謝辞

本報告書「テープレコーダーの技術系統化調査」を作成するにあたって、多くの方々から貴重な資料・情報の提供をいただきました。さらに詳しい説明やお話を伺うことができましたこと、併せて深くお礼を申し

上げる次第です。特に下記の方々には、深く感謝いたします。

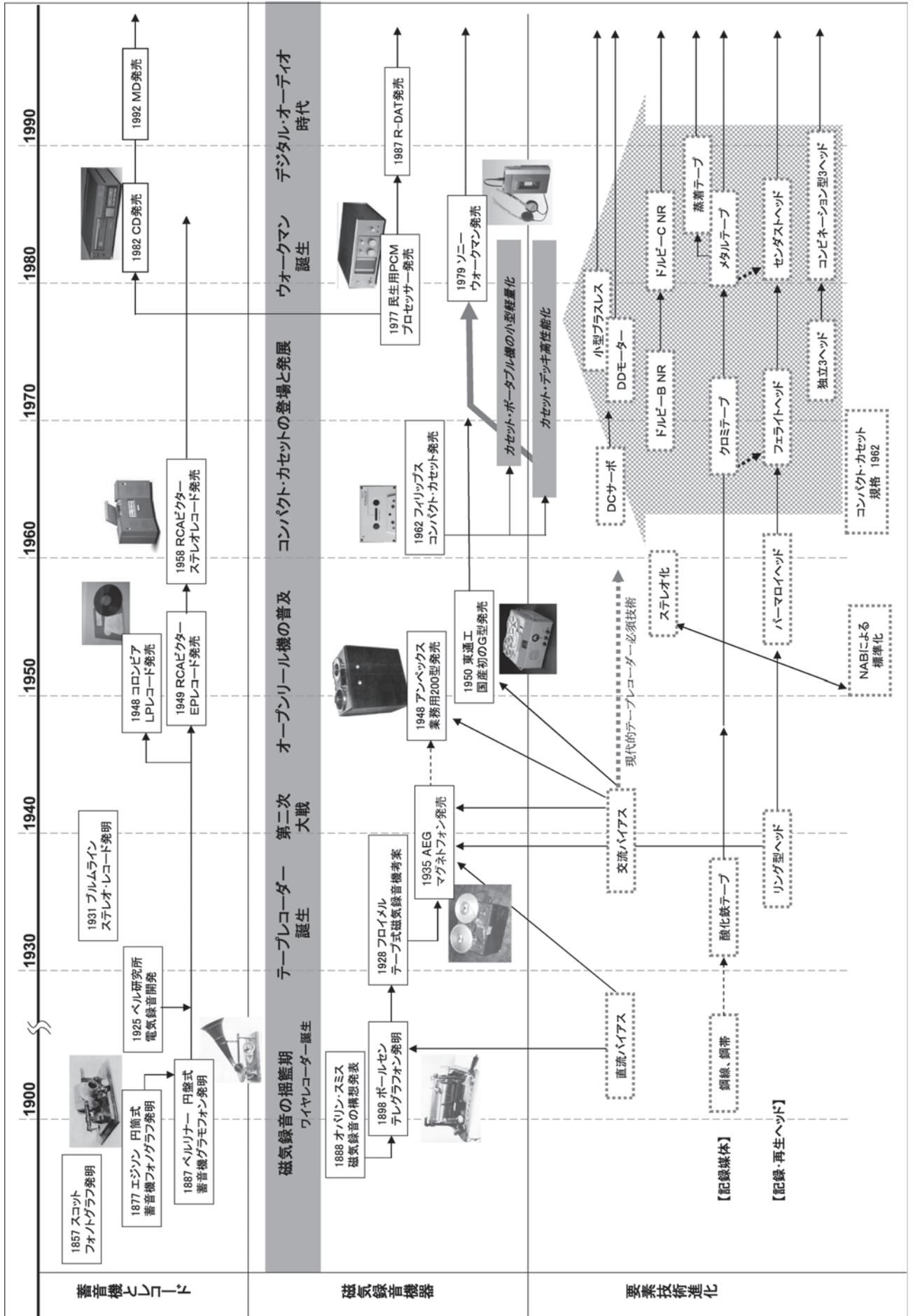
元ティアック株式会社  
阿部 美春氏  
元日本ビクター株式会社  
藤本 正熙氏  
ソニー株式会社  
柏原 充氏  
井桁 貞治氏  
元パナソニック株式会社  
蔭山 恵氏  
古田 敬明氏  
パナソニック株式会社  
春井 正徳氏  
日精テクノロジー株式会社  
村山 正美氏  
電子情報技術産業協会  
設楽 哲氏  
木下 礼子氏  
日本オーディオ協会  
校條 亮治氏  
森 芳久氏

## 参考文献

\*各章に「引用」としてあげた文献は除く。

- 1) 中川靖造：「ドキュメント日本の磁気記録開発」、ダイヤモンド社、昭和59年1月26日
- 2) 中島平太郎・小高健太郎：「図解 DAT 読本」、オーム社、昭和63年7月25日
- 3) 「世界のオーディオ テクニクス」、株式会社ステレオサウンド、昭和53年5月20日
- 4) 「世界のオーディオ ソニー」、株式会社ステレオサウンド、昭和53年10月31日
- 5) 八島康生：「Sony Chronicle 2010」、株式会社ソニー・マガジズ、平成22年3月10日
- 6) 「SONY ES Review© 臨時増刊号 (ES Review ソニー創立35周年記念号) AUDIO 35 YEARS」、ソニー株式会社

テープレコーダーの系統図



年 表

西暦	テープレコーダー関連事項	レコード、放送関連事項
1857		レオン・スコットが世界初の音の記録機「フォノトグラフ」発明
1877		トーマス・エジソン 世界初の円筒式蓄音機「フォノグラフ」発明
1887		エミール・ベルリナー 円盤式蓄音機「グラモフォン」発明
1888	オバリン・スミス 磁気録音の構想を発表	
1898	ヴァルデマール・ポールセン 世界初の磁気録音機「テレグラフォン」発明	
1902	ポールセン、ペデルセン 直流バイアス特許出願	
1920		米国で商業ラジオ放送開始
1921	カールソン、カーベントナー 交流バイアス特許出願 (米)	
1925		日本でラジオ放送開始
1928	フリッツ・フロイメル テープ式録音機「サウンド・ペーパーマシン」完成	
1934	AEG 「マグネトフォン」完成	
1938	永井、五十嵐、石川 交流バイアス特許出願 (日)「永井特許」	
1939	ウールドリッジ 交流バイアス特許出願 (米)	
1940	ヴェーバー、ブラウンメール 交流バイアス特許出願 (独)	
1941	カムラス 交流バイアス特許出願 (米)「カムラス特許」	
1948	アンベックス 「AMPEX200 型」発売	コロンビア LP レコード発表
1950	東通工 国産初のテープレコーダー「G 型」発売	
1951	東通工 可搬型テープレコーダー「M-1 型」完成	
1958	RCA ビクター 「RCA カートリッジ」システム発売	RCA ビクター 45/45 方式ステレオ・レコード発売
1962	フィリップス 「コンパクト・カセット」の試験発売	
1963	グルンディッヒ、テレフンケン、ブラウプンクト「DC インターナショナル」発売	
1965	国内初のコンパクト・カセット機 フィリップス「EL-3301」発売	
1969		日本で FM 本放送開始
1970	BASF クロミテープ発売	
1970	松下 初のダイレクト・ドライブ方式カセットデッキ「RS-275U」発売	
1971	TEAC ドルビーNR 内蔵カセットデッキ「A-350」発売	
1973	ナカミチ 3ヘッド・カセットデッキ「ナカミチ 1000 型」発売	
1973	ソニー 2層塗り「DUAD テープ」発売	
1973	ソニー カセット・デンスケ「TC-2850SD」発売	
1975		民生用 VTR 「β マックス」登場
1976		民生用 VTR 「VHS」登場
1977	ソニー 世界初の民生用 PCM プロセッサ「PCM-1」発売	
1978	3M メタルテープ「メタファイン」発売	
1978	松下 マイクロカセット用蒸着テープ「オングローム」発売	
1979	ソニー ウォークマン 1 号機「TPS-L2」発売	
1982		コンパクト・ディスク (CD) 登場
1983	カセットケースサイズのウォークマン「WM-20」発売	
1987	民生用 DAT 登場	
1992		ミニディスク (MD) 登場

テープレコーダー 登録候補一覧

番号	名称	製造年	所在地	資料形態	選定理由
1	「ウォークマン」1号機 TPS-L2	1979年	ソニー歴史資料館	展示	世界初のヘッドホン・ステレオ、再生専用テープレコーダーと小型軽量ヘッドホンの組み合わせは、音の良さといつてもどこでも音楽が聴けるというコンセプトが若者を中心に支持され、世界中で音楽リスニングのあり方を大きく変えた。「ウォークマン」の愛称は英国のオックスフォード・イングリッシュ・ディクショナリーに掲載されるまでになった。
2	オープンリール式 テープレコーダー G型	1950年	ソニー歴史資料館	展示	国産第1号の家庭用オープンリール式テープレコーダー。リミッター(制限増幅器)付きのAタイプと、リミッター無しBタイプがあった。テープは同時に開発された紙ベースの酸化鉄テープであった。
3	世界初のダイレクト・ドライブ方式ターンテーブル SP-10	1970年	パナソニックミュージアム	展示	DCダイレクト・ドライブモーターを世界で初めて開発、搭載したレコード用ターンテーブルシステム。低速回転時の制御技術も含め、AV機器のDD化の起点となった。
4	コンパクト・カセット小型ハンディ録音機 TC-50	1968年	ソニー歴史資料館	展示	マイクを内蔵し、かつ片手で操作できる小型テープレコーダー。コンパクト・カセットの小型という特長を最大限に生かした機種であり、米国のアポロ7号の乗組員によって宇宙船内で利用された。
5	電池式小型オープンリール・テープレコーダー RQ-303「マイソニック」	1963年	パナソニックミュージアム	展示	4号という専用リールを使い、テープ速度4.8cm/sの小型で電池駆動可能な家庭用テープレコーダー。ピアノキー式操作ボタンで使い勝手もよく、家庭用普及機が2万円前後であった時期に価格10,000円で発売され、大きなシェアをとるヒットモデルとなった。
6	世界初の民生用PCMプロセッサ PCM-1	1977年	ソニー歴史資料館	展示	ベータマックスやUマチック規格の家庭用VTRとつないで、PCMデジタル録音・再生を家庭で楽しめるオーディオユニット。アナログ技術では達成困難な超高音質を民生機器に初めて持ち込み、デジタルオーディオのさきがけとなった機種。価格480,000円。
7	ポータブル・ステレオ録音機「カセット デンスケ」 TC-2850SD	1973年	ソニー歴史資料館	展示	電池で動作するステレオ録音可能なポータブル型ステレオ・テープレコーダー。ドルビーNRを採用するなど据置きデッキに劣らない高音質仕様。高性能マイクアンプを搭載しており、「生録ブーム」の火付け役になったヒットモデル。価格は52,800円。
8	世界初のダイレクト・ドライブモーター搭載コンパクト・カセットデッキ RS-275U	1970年	パナソニック株式会社 社史室	保存	世界初のダイレクト・ドライブ方式キャブスタシ・モーターを搭載した高級カセットデッキ。ワウ・フラッター性能などテープ送り精度が向上し、その後のコンパクト・カセット機器の性能向上に影響を及ぼした。
9	ゼロ・ループ式オープンリール・テープレコーダー RS-1500U	1976年	パナソニック株式会社 社史室	保存	ゼロ・ループ方式テープ走行系を採用し、安定したテープ走行性能を実現したオープン・リール式高級テープレコーダー。キャブスタシにはターンテーブルで培ったDCダイレクト・ドライブ方式を搭載。

## 国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第17集

---

平成24(2012)年8月20日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館  
産業技術史資料情報センター  
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征、エディット 大倉 敏彦)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館  
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20  
TEL：03-3822-0111
- 印刷 新高速印刷株式会社