

アナログディスクレコード技術の系統化報告と現存資料の状況

～機械式録音から電気式録音へ、そして長時間化とステレオ化へ～

1

Historical Development of Analog Disc Recording Technology and Artifacts Now in Existence
— Shift from Mechanical to Electrical Recording Methods for Longer Duration Recordings, and Stereo Sound —

穴澤 健明 Takeaki Anazawa

■ 要旨

本報告書第2章「レコードの誕生からその繁栄まで」では、次の内容について記述した。アナログレコードの歴史は1877年（明治10年）のアメリカ人エジソン（Thomas Edison）の録音再生が可能な円筒（シリンダ）方式の蓄音器「フォノグラフ」の発明に始まる。その10年後の1887年（明治20年）には、ドイツ人ベルリナー（Emile Berliner）が円盤式蓄音器「グラモフォン」を発明し、第1次世界大戦の終了後までの円筒方式と円盤方式との競合の時代を経て、大量複製が容易な円盤方式のアナログレコードが大勢を占めるに至った。

続く本報告書第3章「アコースティック式（機械式）吹込みレコードとそのプレーヤの誕生」では、我が国の以下の状況を記述した。19世紀末に円筒方式の蠟管の輸入が始まり、20世紀に入ると既に存在していた欧米のレコード会社が日本での録音を開始し、製造を欧米で行った後日本に輸出した。その後の1909年（明治42年）には、日米蓄音器製造（株）が日本で最初の円盤レコード（直径10インチ78回転片面盤）を製造し、日米蓄音器商会在販売を開始した。その翌年の1910年（明治43年）に日本蓄音器商會（前年日米蓄音器商會を改称）が国産第1号蓄音器を発売した。

本報告書第4章「電気吹込み時代の到来」では、第1次世界大戦終了後の状況を記述した。放送が始まり、このために真空管やマイクロフォン等多数の開発が行われた。これに伴い1924年（大正13年）には、アナログレコード録音にも、それまでの電気を使わない機械式レコード録音法に代わってより音質の優れた電気録音法の時代が到来した。蓄音器は当初自分で録音しその後自分で再生する機械であったが、溝を切削したアナログレコードの原盤に導電性を付加し、プレス原盤を作成し成型を行うと大量の複製が容易になった。この利点を生かし、アナログレコードは音楽流通手段として活用されると共に、海賊盤にも悩まされることとなった。

一方放送局での番組制作では、磁気録音機が導入される1950年（昭和25年）ごろまで、番組制作のために円盤録音機が使用され、1936年（昭和11年）のベルリンオリンピックはその代表的な例であった。我が国でもその次の1940年（昭和15年）の東京オリンピックのために円盤録音機の開発が行われ、海外製をしのぐ音質と性能を持ちながら、中止となった次の東京オリンピックに生かすことはできず、終戦の詔勅の放送に使われた。この戦前戦中戦後の時代、我が国では多くの先人たちが独創的な開発を行い、最長36分間の録音再生時間を誇ったフィルモン、上記円盤録音機、放送用マイクロフォン、磁気録音機等の画期的な開発が行われ、戦後に発展する日本の民生用機器開発の基礎を築いた。

本報告書第5章では、「アナログレコードの長時間化とステレオ化」の推移を辿った。まずマイクロフォンからその收音方法と音場再生の概要について触れる。その後で録音から、編集、ミックスダウン、カッティング（マスタリング）までの音源收音収録技術の変遷を辿った。その次に、録音再生イコライザの統一や円盤レコードの較正法と機器の測定に使われたテストレコードについて触れた。併せて円盤レコードの再生ひずみの補正技術や4チャンネルレコードに至るまでの溝切削技術の発展について解説を加えた。同じ第5章の後半では再生専用円盤レコードの製造技術と円盤レコードの材料の改善についても触れた。具体的には、レコード原盤への導電性の付加、ラッカー盤への銀鏡法の適用、マスター、マザー、スタンパーの製法、円盤レコード製造工程の変遷、レコード原材料の変遷に触れ、フォノシートなど各種特殊レコードについても説明を加えた。その後、円盤レコードプレーヤの発展と題し、蓄音器、電蓄、LP、ステレオの各時代についてカートリッジを中心にトーンアームやフォノモータについても説明加えた。

本報告書第6章以降は、状況の推移を理解するための背景となる情報を中心に記述した。第6章では、レコード業界、レコードプレーヤ業界の変遷及び出荷推移について報告した。次の第7章では、レコード関係の国際規格、国内規格、業界規格などの各種規格について説明を加えた。第8章では音楽録音物の付番方法とその権利保護方法について解説を加えた。第9章では現存資料の状況について報告した。

オーディオの黎明期の発展は本文で述べる通り米国の会社の技術開発によるところが大きい。規模は限られるが日本でも米国勢のレベルを凌駕した技術開発が情熱に燃えた技術者によって行われた。その代表的な例として、優れた特性を持つカッターヘッドを開発した坪田、世界に先駆けてコンデンサーピックアップアップやコンデンサーイヤースピーカを開発した林、民生用磁気録音機を開発した井深などがあげられる。その後世界に誇れる民生機器が我が国で数多く誕生した。中でも1970年代はじめの我が国でのデジタル録音の実用化とその10年後のCDの開発導入は特筆に値する。その一方で、デジタル技術は、芸術に近い分野ではアナログでの達成レベルを超えられないでいるとの指摘もある。日本をはじめとするオーディオ技術者が、叡智を結集してこのハードルを越えていくことが望まれる。

■ Abstract

Chapter 2 of this study, titled "From the Advent of Sound Recording to Its Overwhelming Acceptance," touches on related developments, as follows. The history of analog recordings dates back to 1877 when American inventor Thomas Edison came up with a new phonograph that enabled users to record sound onto a recording cylinder and replay that audio. In 1887, just 10 years later, German inventor Emile Berliner created the gramophone. The era from that time up until the end of the World War I was one where the cylinder-based recording medium competed with the disc-based medium. Later, the disc medium which was more conducive to mass replication went on to dominate in the realm of analog recordings.

Chapter 3 of this study, titled "Birth of Acoustic (Mechanical) Recording and Acoustic Players," describes developments in Japan with respect to audio recordings, as follows. Toward the end of the 19th century, Japan began importing wax cylinder audio devices. At the beginning of the 20th century, already-established Western record companies began making recordings in Japan, and then reproduced those recordings back home for export to Japan. In 1909, a Japanese company began manufacturing disc-shaped records (single sided 78-rpm records, 10-inches in diameter), which were released under the "Nipponophone" label. One year later, in 1910, Japan's first domestically produced gramophone player was released.

Chapter 4 of this study, titled "Arrival of the Electrical Recording Era," describes circumstances ensuing after the end of the World War I. This era marked the advent of broadcasting, the success of which hinged on numerous developments such as with respect to vacuum tube and microphone technologies. Such efforts ushered in an era in analog recording, beginning in 1924, where electrical recording offering superior audio quality came to replace earlier mechanical recording techniques that did not use electricity. Initially, users of gramophones would have to make their own recordings for playback sometime later. However, it became easier to mass-reproduce analog recordings with the advent of electronic recording, where records could be produced using conductive analog record masters with pre-cut grooves. Whereas this enabled distribution of analog recordings of music, it also gave rise to issues with respect to the piracy of music recordings.

Meanwhile, up until the introduction of magnetic recording devices in 1950, broadcasters would create program content using disc-based recording equipment, one prime example of this being coverage of the Berlin Olympics in 1936. Japan also embarked on development of disc-based recording equipment offering performance and audio quality exceeding that of equipment from overseas, with the intent of using it in what were to have been the 1940 Tokyo Olympic Games. However, whereas the eventual cancellation of those games meant that those devices were ultimately not used for that purpose, they would later be used in broadcasting the imperial edict that brought World War II to an end. During the immediate pre-war to post-war era many Japanese engineers engaged in original development efforts, which yielded breakthrough technologies such as Filmon sound belt devices which offered up to 36-minute recordings, the disc recording equipment mentioned previously, broadcast microphones, and magnetic recording devices. These technologies would go on to form the foundations of consumer devices developed in Japan after the war.

Chapter 5 of this study, titled "Longer Duration Analog Recordings and Shift to Stereo Sound," traces such developments. First, the chapter overviews developments with respect to methods for picking up sound with microphones and sound field reproduction. It then goes on to trace changes in sound pick-up and recording technology from the recording stage to that of editing, mix down, and cutting (disc mastering), both analog and digital. The chapter then touches on the topic of integrating recording and playback equalizers, and that of test recordings that draw on recording disc calibration methods and monitoring of recording devices. Explanations are also given with respect to development of technologies for correcting recording disc playback distortion and those for cutting grooves on recording media with up to four channels of audio. The latter half of Chapter 5 touches on technologies for manufacturing read-only records and looks at improvements in materials used in making records. More specifically, this section provides details on developments with respect to conductive properties of master recordings, use of electroplating techniques with lacquer masters, manufacturing processes for master plates, mother plates and stampers, and record manufacturing processes. It also touches on changes with respect to base materials used in making records, and adds details about the flexidisc format (flexible records) and other special types of records. The chapter later introduces the subject of developments in record player technology, providing details about pick-up cartridges, tone arm and phono motors, throughout the respective gramophone, tuner equipped player and stereo set.

Chapter 6 and later chapters delve into background details necessary in understanding technological developments. Chapter 6 goes into changes in the record and record player industries, and trends with respect to factory shipments. Chapter 7 looks at various standards, such as international, Japanese and industry standards related to recordings. Chapter 8 delves into numbering schemes of the International Standard Recording Code and respective means of copyright protection. Chapter 9 conveys details about artifacts still in existence.

As this study suggests, American companies played a large role in the early days of analog audio recordings. On a more limited scale, Japanese engineers fueled by a passion for such technology also developed superior technologies, on par with those coming from the U.S. Some prime examples of this include the likes of Koichi Tsubota who developed a superior cutter head, Naotake Hayashi who developed a world-leading condenser pick-up and condenser "ear speakers," and Masaru Ibuka who developed magnetic recording devices for consumer use. Many other world class consumer devices were later conceived of in Japan, including noteworthy developments with respect to the introduction of practical digital recording applications in the 1970s and development and market launch of compact disc technology 10 years later. Meanwhile, some have asserted that digital technology is unlikely to surpass levels achieved using analog means in areas with a close connection to the arts. Going forward, it is hoped that audio engineers from Japan and other countries will mobilize their collective talents and knowledge in order to overcome such hurdles.

■ Profile

穴澤 健明 Takeaki Anazawa

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

1967年3月 早稲田大学理工学部電気通信学科卒。
1969年3月 同大学院理工学研究科音響工学専攻修士課程修了。
1970年4月 日本コロムビア株式会社入社、同社録音部にて音楽コンテ
ンツのデジタル化、4チャンネルオーディオ、カラオケ等の開
発とその制作現場での運用に従事。
1972年4月 録音制作現場用PCM/デジタル録音装置実用化。
1974年より1985年 欧州、米国でのクラシック他のデジタル録音制作に従事。
1992年3月 デジタル・オーディオ技術での顕著な功績によりAESシルバーメダル受賞
1995年6月 日本コロムビア株式会社取締役役に就任。
2001年10月 同社取締役を退任し、同社及び株式会社デノン常務執行役に就任。
2002年3月 両社常務執行役を退任。
2002年5月 株式会社ディアルエムソリューションズ代表取締役役に就任。
2009年3月 同社代表取締役退任。
2013年4月 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に就任。

一般社団法人日本オーディオ協会理事
AES (Audio Engineering Society) フェロー
日本音響学会会員

■ Contents

1. はじめに	3
2. レコードの誕生から繁栄まで	4
3. アコースティック式(機械式)吹き込みディスク・レコードとそのプレーヤの誕生	6
4. 電気吹き込み時代の到来	10
5. 円盤レコードの録音再生時間の長時間化とステレオ化	19
6. レコード業界及びレコードプレーヤ業界の変遷及び出荷推移	54
7. レコード関係各種関連規格他について	58
8. 音楽録音物の付番方法と保護方法について	60
9. 現存資料の状況	63
10. おわりに	66

銀塩カラー印画紙の技術系統化調査

Historical Development of Silver Halide-based Color Photographic Paper

2

梅本 眞 Makoto Umemoto

■ 要旨

人類の誕生から長い間、画像を記録する方法は絵画しかなかった。およそ 180 年前に銀塩を利用した写真が発明され、見たものをそのままの形で記録できるようになった。

最初は撮影した原版をそのまま観察する方式であったが、比較的初期のうちに撮影原版から印画紙にプリントを作成して観察する方式へ変更になり、その後の主流となっていった。写真の技術開発はヨーロッパを中心に進んだ。アメリカでも発明から間もない時期から工業化が始まった。欧州から日本への写真の伝播は比較的早かったが、感光材料の工業化が日本で起こったのは 40 年ほど経った 1880 年代に入ってからであった。

19 世紀後半になって、カラー写真を作成する方法が模索されたが、現在の我々が知っている形のカラー写真が完成したのは 1940 年代の第二次世界大戦中のことであった。戦後になり日本のメーカーがカラー写真に参入した。当初は欧米のメーカーの技術を後追いつることから始まった。しかし日本人の粘り強い開発への取り組み、部門をまたいで協力し合うチームワークの良さ、日本国内の複数メーカー間の良きライバル関係、1970 年代の国内の写真需要の急増などの結果、急激に欧米メーカーをキャッチアップ、1980 年代半ばからは世界をリードするような技術開発を成し遂げた。

銀塩写真感光材料は、白黒写真感光材料、カラー写真感光材料、映画用写真感光材料などの他に、印刷などの工業用、レントゲンフィルムのような医療用まで多岐にわたる。今回の技術系統化調査では、一般のユーザーになじみの深い、カラープリントを作成するためのカラー印画紙について取り上げた。同時にカラー印画紙にいたるプリント材料の歴史の調査も行い、カラープリントにいたる技術の進歩の歴史を俯瞰した。

カラー印画紙の技術開発の歴史は、ユーザーにいかにより美しい画像を、早く届け、しかも長い間色褪せずそれを保持せよということを追求めてきた歴史であるということが出来る。技術用語で言うと、①色再現性、②画像堅牢性、③迅速処理性の向上が主要な課題であった。これらの向上のために、支持体、ハロゲン化銀乳剤、層構成、カップラーや退色防止剤などの有機素材、また現像処理液や現像機器において種々の技術が開発された。本調査報告では、これらの技術の開発経緯について、素材ごとに取り上げて解説を行った。

これらの技術開発の結果、銀塩カラー印画紙が開発されてから 70 余年の間に、①色再現性においては、色が付いた画像という程度の彩度の低いものから、被写体にかなり忠実に鮮やかな再現が出来るカラー画像に進歩した。②画像保存性においては、暗所保存で律速になるシアン色素画像が 1970 年から 1990 年の 20 年間で 16 倍堅牢になった。光に対する堅牢性は最も弱いマゼンタ色素画像が 1942 年から 1992 年の 50 年間で 400 倍以上堅牢性が向上した。③現像処理においては、42 分要していたものが最速のミニラボ（1999）では 52 秒と、およそ 1/50 に短縮された。また感光材料に塗布する銀の量も 1942 年から 2000 年の 60 年間で 1/10 に減少した。

カラー印画紙の開発過程で培われた技術は、他の分野にそのまま転用できるわけではないが、色再現性、画像保存性などは、インクジェット等のプリント材料にも共通して必要な性能である。また、デジタルミニラボで開発された画像処理技術は、現在のデジタルカメラやスマートフォン、デジタルプリンター等の顔抽出や画質向上にも活かされている。

銀塩の写真は 1990 年代後半からのデジタルカメラの普及により、2000 年頃から急速に市場が縮小して来ている。それに呼応して写真感光材料の製造を行っているメーカーの数も少なくなっているため、現時点でこれらの技術開発の歴史を振り返って纏めておく事は重要と考える。

この報告が、分野は違ってもこれからの技術者の開発の参考になれば幸いである。

■ Abstract

Over most of human civilization, painting was the only means of recording images. However, that changed some 180 years ago with the invention of silver-halide photography which enabled humankind to record true-to-life images.

The earliest photographs were directly etched onto photographic plates, but in a relatively short amount of time other methods emerged, which would go on to become the norm, whereby images were transferred from photographic plates and printed onto photographic paper. Initially, Europe was at the center of developments in photographic technology, with America also commercializing photography soon after its invention. Whereas photography itself found its way from Europe to Japan relatively early on, commercialization of light-sensitive photographic materials didn't start until the 1880s, around 40 years after the advent of the technology.

Although photography experts had been seeking ways to create color photos beginning in the late 19th century, the type of color photography that we are all familiar with today didn't come into being until the 1940s, during the Second World War. After the war, Japanese manufacturers set their sights on the color photography market, and embarked on efforts to catch up with the technology of European and U.S. manufacturers. Consequently, Japanese manufacturers rapidly gained ground on European and U.S. manufacturers thanks to tenacious development efforts on the part of Japanese engineers, effective teamwork across different sectors, constructive rivalries among numerous domestic manufacturers, and surging Japanese demand for photography-related products in the 1970s. By the mid-1980s, Japan's efforts to develop the technology led to its becoming the worldwide leader of the industry.

Light-sensitive silver halide photographic materials offer a wide range of applications, including uses in media for black-and-white/color photography and photographic light-sensitive materials for cinematography, commercial uses in the printing industry and other sectors, and applications such as x-rays films in the field of medicine. This study of historical developments in technology looks at the color photographic paper for making color prints, familiar to consumers. At the same time, we look at the history of photo printing materials that paved the way for the development of color photographic paper, and overview historical progress that led the way to today's color prints.

Our findings show that the history of technological developments with respect to paper for color photography is one of engineers seeking solutions that would deliver consumers beautiful images quickly, and provide them with photos resistant to fading over long periods of time. In technical terms, three factors posed significant challenges: 1) color reproducibility, 2) image durability, and 3) speed of photo developing. To bring about improvements in those areas, engineers came up with a string of technologies in the areas of paper support, silver halide emulsion, layer structures, couplers and anti-fading agents and other organic materials, and also with respect to photo developing solutions and equipment. This study describes efforts taken with respect to individual materials in terms of stages in the development of such technologies.

In a mere 70 years following the advent of silver halide-based paper for color photography, development efforts delivered several results: 1) With respect to color fidelity, manufacturers successfully came up with the technology for color photos that vividly and faithfully depicted subject matter, from the previous technology that delivered photos with low saturation levels and unsatisfactory color. 2) With respect to image durability, in just 20 years, from 1970 to 1990, researchers improved storage longevity sixteen-fold with respect to the life of cyan image pigmentation under dark storage conditions. Meanwhile, over the span of 50 years, from 1942 to 1992, researchers brought about a 400-fold or greater increase in the longevity of magenta dye, which is the least robust dye on exposure to light. 3) With respect to the photo developing process, researchers successfully reduced the time it takes to develop photos fifty-fold, from the previous 42 minutes to just 52 seconds with the fastest minilab systems (1999). Over 60 years, from 1942 to 2000, development efforts also brought about a ten-fold decrease in the amount of silver coating on color photographic paper.

Although efforts to develop photographic paper for color prints did not directly result in other new technologies, other forms of print media like ink-jet did benefit from the increased performance of such paper with respect to attributes such as color reproduction and image longevity. Also, image processing technologies developed for digital minilabs now play a role in face detection and image quality enhancing technologies used in digital cameras, smart-phones and digital-printers.

The market for silver halide photography has been rapidly diminishing since around the year 2000 amid the growing prevalence of digital cameras beginning in the mid-1990s. This has led to a scenario of increasingly fewer manufacturers who produce light-sensitive photographic materials. By looking back on the history of these sorts of technological developments from our current vantage point, it is hoped that this study will provide some measure of support in future efforts to develop new technologies.

■ Profile

梅本 眞 Makoto Umemoto

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51年 3月 北海道大学理学部高分子学科卒業
昭和53年 3月 北海道大学大学院理学研究科高分子学専攻修士課程修了
昭和53年 4月 富士写真フイルム株式会社入社、足柄研究所でカラー印画紙の開発研究に従事
昭和60年 4月 足柄研究所評価部門でカラー写真感光材料・現像処理剤・ミニラボの商品化評価に従事
平成12年 6月 Fuji Photo Film B.V.(オランダ)に出向、同社研究所でカラー写真感光材料商品化評価、市場サービスに従事
平成16年 9月 足柄工場品質保証部へ異動、カラー撮影材料の品質保証を統括
平成18年10月 足柄工場環境安全部で環境関連の基礎研究に従事
平成22年11月 同社を定年退職
平成22年12月～富士フイルム研修センター非常勤講師
平成25年 4月 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

■ Contents

1. はじめに	69
2. ネガ・ポジ方式のカラー画像の形成原理	70
3. カラー印画紙の層構造と主要技術	74
4. カラー印画紙に至るプリント材料の歴史	78
5. 日本における印画紙の歴史	91
6. 20世紀後半のカラー印画紙における技術開発	95
7. カラー印画紙現像処理の変遷	114
8. その他の銀塩カラープリント材料	129
9. カラー印画紙に関連した出来事	130
10. あとがきと謝辞	133
カラー化以前の印画紙技術系統図	134
カラー印画紙の技術系統図	135
日本の写真感光材料メーカーの変遷	136
カラー印画紙(一般用)・処理剤・処理機器の開発史	137
銀塩カラー印画紙関連 産業技術史資料 所在確認	139

■ 要旨

1970 年代初頭より、ビデオディスクと呼ばれる映像信号をディスクに記録する技術（方式）の研究、開発が主に欧米のメーカにより行われていた。その中で LD（レーザディスク方式）は Philips 及び MCA 社によって基本開発され、円盤に記録された情報にレーザ光を照射し、その反射光からピックアップ制御用の信号を検出すると同時に、映像、音声情報を取り出す方式である。LD では信号記録面が大気中（表面）に露出しておらず、かつ表面にガイド溝の必要が無く、信号読み取り部がディスクと非接触であるとの特徴を有しており、ディスクの取り扱いが容易、ランダムアクセスが可能、システムの耐久性が確保できる等、高い性能が期待される方式であった。

しかしながら、開発当初の LD システムは、キー部品の一つであるレーザが真空管タイプのものしか存在していなかったこと、必須である光学機器設計の分野は当時の電機業界にとってなじみの無い分野であったこと、光学読み取り信号からピックアップの各種サーボや回転系のモータをサーボ制御する技術は電気回路であるものの新たな取り組みを必要としたことなど、実用化にあたっては解決すべき問題が多く残されていた。また、再生機だけでなくメディアであるディスクの生産においても、レーザを使用したマスタリングマシンで露光製作した原盤から、量産用の金型（スタンパー）を作るプロセスや、ディスクを樹脂の射出成形で作るその信号面に反射幕を蒸着するプロセスなども新たな技術開発を必要とした。

1977 年よりパイオニア（株）はこの技術に注目し、MCA 社より技術を導入し、LD 方式のビデオディスクの実用化と事業化に取り組み、プレーヤの開発と生産だけでなく、ディスクの開発と生産、コンテンツとなるソフトの編集など多くの事業開発を単独で行った。1979 年には世界初の産業用プレーヤ PR-7820 を、1980 年には北米市場に民生用プレーヤ VP-1000 を、1981 年には日本市場に LD-1000 を導入した。さらに、1984 年には、半導体レーザを使用した世界初の LD プレーヤ、LD-7000 を開発して市場に導入した。1 つのディスクの中に CD 音声の追加、ドルビー 5.1ch サラウンドの追加などフォーマットの改良や、LD/CD コンパチブルプレーヤや、LD/CD/DVD コンパチブルプレーヤなどの開発、市場導入も世界に先駆けて行ってきた。

LD は映像出版革命をもたらすメディアとして大きな期待が持たれた。LD は民生用だけでなく、産業用用途として、教育、映像展示、画像ライブラリーなど多くの分野での応用が試みられた。特にカラオケへの応用では、非接触でランダムアクセス可能な映像メディアであるという特徴が最大限に生かされた。LD カラオケは、パブやスナックなどの飲食業市場だけでなく、カラオケボックスや家庭用カラオケなど大きな市場を形成し、アジア地区を超えた国際的なカラオケ文化を生み出す原動力となった。

LD 事業は主にパイオニア 1 社により進められていたが、同じ反射型光ディスク方式の CD が 1982 年に発売開始されたことや、1984 年に LD/CD コンパチブルプレーヤの発売を契機にして、多くのメーカが市場に参入を開始した、OEM 製品だけでなく、ソニー、ヤマハ、松下電器産業、三洋電機などが独自技術を盛り込んだ LD プレーヤの発売を開始した。1980 年に本格的に開始された LD 事業は、1990 年代初頭にピークを迎えたが、カラオケ需要の減少と共に縮小して行き、1996 年の DVD の発売をきっかけに終焉に向かうこととなった。

LD はカラオケを除いてビジネス的には大成功したとは言いがたい商品であった。しかしながら、後に市場に導入されて世界的に大きな市場を作った CD、DVD、BD は、記録ディスクのサイズ、記録密度、使用されるレーザの波長、記録信号は異なるが、基本的には同じ反射型光ディスク技術を使用したものであった。LD の開発、実用化をきっかけに多くの家電メーカだけでなく、光学部品メーカや化学材料メーカが開発に参画し、日本の光ディスク開発におけるリーダーシップの基盤を作るきっかけとなったことは間違いない。

従来、日本の製造業では、欧米で開発、商品化されている商品を国産化して、信頼性のある製品を安価に世界市場に供給することで発展してきた例が多い。LD の場合、基本開発は欧米で行われたものの、実用化、製品化、産業化を日本主導で行ったものである。またその成果により LD に続く光ディスクである CD、DVD、BD の技術開発や製品開発の中で日本が国際的なリーダとなっていく基礎が築かれた。

■ Abstract

In the early 1970s, primarily European and U.S. manufacturers embarked on research and development efforts into so-called video disc technologies (formats) for recording video signals to disc. Among those efforts, Philips and MCA conducted fundamental research on the laser disc (LD) format whereby a laser beam scans data recorded on an optical disc, and the reflected laser beam signal is used to simultaneously detect a pickup control signal and to extract video and audio data from it. With the LD format, the surface of the disc containing the stored data is not exposed to the atmosphere, while the pick-up head that reads the optical signal does not need come into contact with the optical disc. Tracking is done by servo system, without any tracking grooves on the disc. Therefore, the LD format offered the promise of high performance in the form of laser discs which are easy to handle, random access to video content, and durability of the overall system.

Nevertheless, the original LD systems presented many unresolved issues that had to be addressed in order for the format to lend itself to practical use. For instance, whereas the laser is a key component of LD systems, only vacuum-tube units were available at the time. Also, firms in the electronics industry were not yet familiar with the field of optical instrument design, which greatly impeded the potential for success of the format. A third issue that needed to be resolved was that of the need for a different technological approach from that of relying on electrical circuits containing various servos for detecting the optical read signal and servos for controlling the motor that rotates the optical disc. Meanwhile, beyond issues with the LD player itself, any success of the technology would also hinge on development of new technologies for manufacturing optical discs. For instance, there was a need to develop a new process for making the cutting master disc, created by exposing the photoresist master disc to light using a mastering machine equipped with a laser, and for making molds (stampers) for mass production from that master disc. Also a new process was needed for depositing reflective coatings on the optical signal side of the disc after the resin injection molding phase of production.

Pioneer Corporation began focusing its efforts on the LD format in 1977 when it adopted technology from MCA in an attempt to make the LD video disc format practical and commercially viable. The company looked beyond development and production of LD players, striking out on its own in a wide range of development ventures including that of developing and producing optical discs, along with efforts to amass LD software content. In 1979, Pioneer unveiled the PR-7820, the world's first-ever LD player for industrial use. Then in 1980, it launched the VP-1000 LD player for consumer use in the North American market, and in 1981 released the LD-1000 on the Japanese market. Subsequently, in 1983, Pioneer developed and began marketing its LD-7000 unit, the world's first LD player drawing on semiconductor laser technology. At the time, the company was a global leader with respect to the development and launch of LD products, equipping players with an improved LD format featuring the addition of CD audio on discs to accompany the video signal, and Dolby 5.1 channel surround-sound, as well as the development and market launch of players offering LD and CD format compatibility and others featuring compatibility between the LD, CD and DVD formats.

Manufacturers had high expectations with respect to the LD format, predicting that it would revolutionize the way video content was published. Accordingly, companies pursued myriad applications for the LD format beyond that of consumer use, such as in the areas of business and industry, education, video-based exhibits and image libraries. Laser disc karaoke players made full use of the technology, given that it enabled users on-demand access to video content without the need for them to come into contact with the media itself. A large market developed for laser disc karaoke units, which came to be used not only in pubs, bars and other eating and drinking establishments, but also in the form of private karaoke rooms equipped with such devices and family karaoke systems. Indeed, the units were the driving force behind the advent of what would become an international karaoke phenomenon, even extending beyond the Asian continent.

Although for the most part Pioneer Corporation single-handedly developed the laser disc business, many competing manufacturers began to enter the market after the 1982 launch of the CD format using the same reflective-mode optical disc system and Pioneer's 1984 launch of its player that featured LD-CD compatibility. With that, the market expanded to other manufacturers offering LD players equipped with proprietary technologies, including OEM products and players, such as Sony, Yamaha, Matsushita Electric, Sanyo Electric and others. Whereas the laser disc business had shifted into full gear by 1980 and hit its peak in the early 1990s, the end of the product category later became evident amid a decline in demand for karaoke devices, a shrinking market overall, and the release of the DVD format in 1996.

From a business standpoint, the laser disc format ultimately turned out not to be the major success story that had been hoped for, with the exception of the karaoke devices. Nevertheless, the subsequently-launched CD, DVD and Blue-ray formats, which carved out expansive markets worldwide, basically drew on the same reflective-mode optical disc technology as that of the laser disc format, but with differences in terms of disc capacity, recording density, laser wavelengths, and recording signals. Moreover, numerous electronics manufacturers, as well as producers of optical components and chemical materials, were able to take part in efforts to develop and bring about practical application of laser disc technology, a fact that doubtlessly acted as a catalyst in building a leadership platform for Japanese development of optical disc technologies.

Before the LD era, Japanese manufacturers would often create reliable products drawing on technologies developed in Europe and the U.S., which they would then supply to global markets at reasonable prices. The trajectory for the laser disc was different in that, whereas fundamental development took place in Europe and the U.S., Japan led the drive toward making the technology practical as well as commercially and industrially viable. Moreover, laser disc technologies formed the foundations for what would become Japan's position as a global leader in the technological and product development of the CD, DVD and Blue-ray optical disc formats.

■ Profile

松村 純孝 Sumitaka Matsumura

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	京都大学工学部電子工学科卒業
同年 4月	パイオニア(株)入社 音響研究所入社同社研究部門において、デジタル音声、画像処理などのテーマに従事
昭和55年4月	LD および次世代光ディスクの開発テーマに従事以降、主に DVD、BD の開発、規格化に参画
平成 3年4月	同社執行役員に就任
平成16年7月	同社研究本部次長、総合研究所所長などを歴任
平成21年7月	同社執行役員を退任し同社顧問に就任
平成23年7月	同社顧問を退任
	以降パイオニア(株)のアドバイザーとして現在に至る。
平成25年4月	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

■ Contents

1. はじめに	145
2. ディスク型映像再生システムの黎明期	147
3. LD システムの基本原理	152
4. LD ディスクの生産	162
5. 第一世代 LD プレーヤの開発	175
6. 第二世代 LD プレーヤの開発	179
7. 第三世代以降の LD プレーヤの開発	186
8. LD のアプリケーションと市場	199
9. LD の開発と日本の光ディスク開発	209
10. まとめ	214
LD(レーザーディスク)技術 産業技術史資料 所在確認	216

パーソナルコンピュータ技術の系統化調査

Historical Development of Personal Computer Technology

4

山田 昭彦 Akihiko Yamada

■ 要旨

コンピュータは20世紀のなかばに誕生した。続いてトランジスタ、集積回路が発明され、これらの半導体技術を使用してコンピュータはその後の半世紀で急速な発達を遂げた。1970年代のはじめに世界初のマイクロプロセッサ4004が誕生した。これは4ビットの1チップCPUであったが、その後8ビットのマイクロプロセッサが開発され、これを用いた最初のパーソナルコンピュータとされるアップルコンピュータ社のApple IIが1970年代後半に出現した。

パーソナルコンピュータは個人が使用するコンピュータであり、そのためには安価で小型であること、またコンピュータの専門家でなくても容易に使えることが望まれた。当初の8ビットのパーソナルコンピュータでは自分でプログラムを作る必要があり、誰もが簡単に使用できるものではなかった。16ビットのマイクロプロセッサが登場し、IBMから16ビットCPUでオープン戦略をとったIBM PCが発売された。既製のソフトウェアパッケージを用いて、業務用に広くパーソナルコンピュータが使用されるようになったが、キーボードからの文字による命令による指示を与えて使用する必要があった（CUI）。

アップルコンピュータ社では、ゼロックス社パロアルト研究所のコンピュータAltoに採用されているグラフィカルユーザインターフェース（GUI）を取り入れたMacintoshを1984に発売し、現在のパーソナルコンピュータの基本を作った。Macintoshではマウスとグラフィックディスプレイによりコンピュータを直感的に操作できるようになった。

わが国でも1970年代後半からパーソナルコンピュータの開発が各社で始まった。最初はマイクロコンピュータのトレーニングキットが発売され、続いて8ビット、16ビットのパーソナルコンピュータが販売された。日本のパーソナルコンピュータの大きな成果としては、他の非英語言語の処理にもつながった「日本語処理の実現」と「ノート型パーソナルコンピュータの商品化」をあげることができる。

日本語処理では、かなと漢字といったたくさんの文字を扱う必要がある。漢字入力には、タブレット方式や多段キー方式など種々の方法が試みられてきたが、キーボードからかなで入力して漢字に変換する「かな漢字変換法」が考案された。この方式を適用した日本語ワードプロセッサの専用機が商品化され、広く企業や家庭で使われるようになった。専用機の技術はパーソナルコンピュータに引き継がれた。8ビットパーソナルコンピュータには日本語処理は重荷であったが、16ビットCPUが登場し日本語処理の可能性が開けた。1980年代はじめに登場したNECのPC-9801では、16ビットCPUを採用しグラフィック機能を強化するとともに漢字処理用メモリなどを搭載し、高速の日本語処理を実現した。この普及により、日本語ワードプロセッサのソフトウェアも市販されるようになり、パーソナルコンピュータによる日本語文書の作成が広く行われるようになった。

パーソナルコンピュータをどこでも使いたいという要望から、小型化・軽量化が図られた。わが国ではハンドヘルドコンピュータが世界に先駆けて1980年代はじめに開発され、その後デスクトップ並みの機能を持ったラップトップ型が商品化された。さらに小型軽量化がはかられ、東芝からA4ファイルサイズのDynabookの商品名を持つ小型の携帯型コンピュータが1980年代終わりに発売された。このカテゴリはノート型パーソナルコンピュータと呼ばれ、日本の軽薄短小化技術を活かした世界をリードする優れた製品が各社からつぎつぎと販売され、その後のパーソナルコンピュータの主流を作った。

1980年代後半には32ビットマイクロプロセッサが登場し、さらにインターネットが出現した。1995年にマイクロソフト社から、GUI環境を実現しインターネットをサポートしたOSのWindows95がリリースされ、パーソナルコンピュータによるネットワークコンピューティングが普及した。インターネットを用いてパーソナルコンピュータからメールの送受信や情報検索することが、個人レベルでも日常的に行われるようになり、今日に続く情報化社会が形成されていった。21世紀にはスマートフォンやタブレットが登場し、パーソナルコンピュータからこれらへの移行が始まり、コンピュータはより生活の中に溶け込んでいった。

パーソナルコンピュータ誕生から40年近く経過しており、コンピュータとしての世代交代の時期にきていると考えられる。国立科学博物館ではメインフレーム、オフィスコンピュータに続いて、今回パーソナルコンピュータの技術の系統化および保存状況の調査を行い、本報告書を取りまとめた。企業で大事に保管されていた時代を輝かせた製品も次第に廃棄されつつある。かつて一般的だったパーソナルコンピュータであっても、現在残されているものを技術遺産として保存していく必要が生じてきている。今回の調査で明らかとなった情報を共有するとともに、重要なものを「未来技術遺産」として登録していくことは、パーソナルコンピュータの果たしてきた役割を保存するとともに、日本の産業技術が人類の知としての科学技術を前進させることに貢献してきた証を再認識し未来に資する上でも有効であると考ええる。

■ Abstract

The mid-20th century saw the advent of the world's first computers, followed by inventions of the transistor and integrated circuit, and rapid development of computers using such semiconductor technology in the subsequent half century. The world's first microprocessor, the 4004, came into being in the early 1970s. Whereas the 4004 CPU featured four bits on a single chip, later engineers would develop an eight-bit microprocessor, which in the latter half of the 1970s was put to use in the Apple II, the first ever personal computer, made by Apple Computer, Inc.

In creating the personal computer, engineers sought a device that could be used by individual consumers, meaning that such machines would have to be reasonably-priced, compact, and readily operable by computing novices. However, the first eight-bit PC did not lend itself to easy operability by typical consumers, given that the devices could only be operated through user-written computer code. Later, when the 16-bit processor became a reality, IBM Corporation began selling its IBM PC featuring a 16-bit CPU, for which it adopted an open strategy. Designed to operate with existing software packages, the new machine came into widespread use in the business world. However, its character-based user interface (CUI) meant that to manipulate the device users had to enter operating commands through a keyboard.

In 1984, Apple Computer, Inc. began selling its Macintosh computer, which featured a graphical user interface (GUI), which is now standard, adopted from a computer dubbed Alto developed by Xerox Corporation's Palo Alto Research Center (PARC). The Macintosh computer featured a mouse and had graphics display capabilities, thereby introducing a more intuitive means for users to operate PCs.

Beginning in the latter half of the 1970s, several Japanese companies also began to develop their own PCs. The first to go on sale was a microcomputer training kit which came in an eight-bit, and later 16-bit model. Among the major achievements emerging from personal computers created in Japan is the introduction of systems based on the Japanese language, which would lead to computers operating in languages other than English, and the development of commercially viable "notebook" PCs.

An expansive character set is required in order for a computer to operate in Japanese, needed to accommodate the many katakana and hiragana phonetic characters and kanji ideographic characters (based on Chinese ideographic characters) used in the language. In that regard, engineers explored various means of enabling kanji-character input, including direct and multi-stage keyboard methods, and eventually came up with a "kana-to-kanji" conversion method whereby the user would enter characters on a kana-scripted or alphanumeric keyboard before converting them to kanji characters. This led to the commercial viability of Japanese-language word processors which eventually boasted widespread business and household use, and featured technology that would later come to be used in personal computers. Although the earlier eight-bit machines could not handle the Japanese-language character set, the advent of 16-bit CPUs made such systems possible. The first such computer, NEC's PC-9801, was introduced in the early 1980s. The new machine was equipped with improved graphics capabilities thanks to its 16-bit CPU along with memory designed to process the Japanese character set, thereby making the notion of high-speed computing with the Japanese language a reality. The growing prevalence of the PC-9801 led to retail sales of Japanese-language word processing software, which in turn came to be put to the task of preparing documents in Japanese using personal computers.

Engineers would go on to make smaller and lighter devices in response to consumer demands for portable PCs that could be used anywhere. Japan led the world in pioneering hand-held computers, developing the first such device in the early 1980s, and would later go on to create commercially-viable laptop computers with functionality on par with that of desktop units. Japanese firms continued to develop increasingly smaller and lighter devices, culminating in Toshiba's Dynabook computer, a small and portable A4-file-sized unit that went on sale toward the end of the 1980s. With the Dynabook and other such computers based on "lighter-thinner-smaller" technologies developed in Japan led the world in what was known as the notebook computer product category, with various Japanese companies successively introducing a string of remarkable products to the market, thereby paving the way for making personal computers a mainstream product.

The latter 1980s saw the advent of the 32-bit microprocessor, which was followed by the dawn of the Internet. In 1995, Microsoft's release of its Windows 95 operating system, which enabled better access to the Internet with its graphical user interface (GUI) computing environment, helped popularize PC-based online computing. As such, e-mail correspondence and online browsing through PCs with Internet access became increasingly commonplace, laying the groundwork for today's information-based society. The emergence of smartphones and tablet computers in the 21st century ushered in a trend away from PCs and made computer technology an even more integral part of our everyday lives.

Now that it has been nearly 40 years since the birth of the PC, a transition to a new age of computing seems to be under way. Accordingly, this study on the history of personal computer technology investigates successive developments that brought about today's personal computing technology, from the earlier mainframe and office computer phases, and looks at how that legacy has been preserved in Japan. Corporations are gradually discarding equipment that could provide insight into an important bygone era. Some formerly ordinary PC units still in existence now represent an important part of our technological heritage, and accordingly should be preserved. This study reports on details that have come to light and furthermore helps preserve knowledge of roles played by personal computers registered by the National Museum of Nature and Science as important examples of Japan's technological heritage worthy of preserving for future generations ("Essential Historical Material for Science and Technology"). Furthermore, this study reaffirms contributions attributable to industrial technologies of Japan that have hastened humanity's knowledge of science and technology, and that furthermore hold potential with respect to future progress.

■ Profile

山田 昭彦 Akihiko Yamada

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34年 3月 大阪大学通信工学科卒業
昭和34年 4月 日本電気(株)入社
主としてコンピュータおよびCADの開発に従事
平成 4年 7月 同C&Cシステム事業グループ主席技師長
平成 5年 4月 東京都立大学工学部電子・情報工学科教授
平成12年 4月 国立科学博物館 主任調査員
平成15年 4月 東京電機大学大学院理工学研究科情報システム
工学専攻特別専任教授
平成25年 4月 国立科学博物館 主任調査員

情報処理学会歴史特別委員会委員、
IEEE Computer Society History Committee委員
情報処理学会フェロー、IEEE Life Fellow、工学博士

■ Contents

1. はじめに	219
2. パーソナルコンピュータ誕生の背景	221
3. パーソナルコンピュータの発達	229
4. 日本の技術の貢献	248
5. パーソナルコンピュータの要素技術	264
6. パーソナルコンピュータの応用	289
7. パーソナルコンピュータの社会への影響	293
8. おわりに	304
9. 謝 辞	306
付録 1. パーソナルコンピュータの歴史	307
付録 2. 産業技術史資料(パーソナルコンピュータ)所在一覧	313