

ミシン技術の系統化調査

Systematic Survey of Sewing Machine Technology

江端 美和 Yoshikazu Ebata

■要旨

18世紀、産業革命の発端は「糸紡ぎ」、「機織り」の機械化の要望に応える紡績機、織機の発明である。そして、それに続く縫製の機械化が当然の如く求められ、ミシンの発明への挑戦が始まる。しかしながら、ミシンが社会に受け入れられたのは、それから約1世紀を経た19世紀半ばであった。時間がかかった最大の要因は「縫合技術」というミシンのキーテクノロジーの水準の問題であり、ミシンが社会に受け入れられたその時からミシン技術の進展が始まったのである。

ミシンが日本に伝来したのは明治維新の前後であり、国産ミシン製造が始まるのは昭和初期となる。しかし、第二次世界大戦後までは“国産ミシンコピー時代”であり、日本の技術がミシン技術の進化に寄与することはほとんどなかった。日本のミシン技術が“世界のミシン技術をリードしてゆく時代”が始まるのは戦後の事である。

日本のミシン技術の進化を含め技術全般に渡り進化を生む根幹要因は、素材（繊維製品）の生産技術（繊維産業）、技術（ミシン産業）の直接の市場（アパレル産業、縫製産業）及び最終消費市場（完成品すなわち衣服等縫製品的一般市場）が近接してあることである。この様な関連市場（産業及び消費市場）の時々刻々変化する要望に応えることによりミシン技術は進化してきた。

しかし、ミシン技術のキーテクノロジーである“縫合をする縫い目を作る”技術は、ミシンが社会に受け入れられた19世紀半ばから約200年余の長い間「本縫い」、「環縫い」が延々と使われ、かつ、技術的進化もしていない。進化の根幹要因となる繊維産業、アパレル産業、縫製産業が海外に移転し傍からいなくなって、技術への要望が得られ難くなった今、日本のミシン技術の目指す方向は「ミシンのキーテクノロジーである“縫合をする縫い目を作る”技術」の研究、理論化を目指すべきである。すなわち、ミシン技術は、ミシン有史以来、市場の基本的要望であり潜在的要望であった先述のキーテクノロジーの進化に、正面から向き合う時が来ているのである。

■ Abstract

In the 18th century, the Industrial Revolution began with the invention of spinning and weaving machines to meet the demand for the mechanization of spinning and weaving. This was followed by a natural demand for the mechanization of sewing, which kicked off the quest to invent the sewing machine. However, it was not until the mid-19th century—about a century later—that the sewing machine was accepted by society. The main reason behind the delay was the level of stitching technology—the key technology of the sewing machine—with the advancement of sewing machine technology beginning only when the machine was accepted by society.

Sewing machines were first introduced to Japan around the time of the Meiji Restoration, and domestic sewing machine manufacturing did not begin until the early Showa period. However, up until the end of World War II, Japanese sewing machine technology was merely copied domestically, and there was almost no contributions made to the evolution of sewing machine technology by Japan. It was not until after the war that Japan's sewing machine technology began to lead the world.

The fundamental factor that has led to the evolution of sewing machine technology in Japan, as well as the evolution of technology in general, is the proximity of the production technology (textile industry) of materials (textile products), the direct market (apparel industry, sewing industry) for the technology (sewing machine industry), and the end-consumer market (general market for finished products, i.e., garments and other sewn goods). Sewing machine technology has evolved in response to the ever-changing demands of these related markets (industrial and consumer markets).

However, lock stitching and chain stitching, the key technology of the sewing machine that makes seams for stitching, have been in use for more than 200 years since the mid-19th century, when sewing machines were first introduced to society, and have not evolved technologically. Now that the textile, apparel, and sewing industries, which are the fundamental factors for the evolution of sewing technology, have moved overseas and are no longer around, it has now grown difficult to get requests for the technology and the direction that Japanese sewing machine technology should take is the research and theorization of the key technology of the sewing machine that makes seams for stitching. In other words, the time has come for sewing machine technology to face head-on the evolution of this key technology, which has been the fundamental and underlying demand of the market since sewing machines have been around.

■ Profile

江端 美和 *Yoshikazu Ebata*

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

1972年	東京都立大学工学部機械工学科	卒業
1972年	蛇の目ミシン工業（株）	入社 (技術研究所勤務)
2003年	蛇の目ミシン工業（株）	本社転属
2008年	(株)サン・プランニング	転籍
2013年	(株)サン・プランニング	退任
2013年	蛇の目ミシン工業（株）	顧問
2015年	蛇の目ミシン工業（株）	退職
2015年	ミシンラボ・エバ	設立

■ Contents

1. はじめに	3
2. ミシンの歴史	4
3. 日本のミシン技術発展の推移	23
4. 日本独自のミシン技術	69
5. まとめ	90
6. おわりに	91
7. 謝辞	91

海域氷工学の系統化調査

Research and Engineering Development on Sea Ice

中澤 直樹 Naoki Nakazawa

■要旨

氷には海水が凍った氷、氷河、凍土中の氷、河川水および水蒸気が凍った氷があるが、本書は海氷に焦点を当て、特に海氷に関わる研究とエンジニアリング技術の発展を、時代を追って辿ったものである。地球上では北極海、南極海、オホーツク海、バルト海、カスピ海、渤海が冬期（海域によっては夏期を含めて）に結氷する海であり、これらの海を対象として海氷の研究が進められてきた。海氷と人間活動の関わりは、氷の海での航海から始まったとすることができる。多くの悲劇に終わった北極海探検を経て、19世紀後半にノルデンショルド（Nordenskiöld）がロシア北極海沿岸を通る北極海北東航路を開拓し、20世紀初頭にはナンセン（Nansen）とアムンゼン（Amundsen）がカナダの北極海沿岸を通る北極海北西航路の調査や開拓に成功した。これらは探検という名の北極海開発であった。第二次世界大戦後の北極海は冷戦の海となり、米国とソビエト連邦による軍事を目的とする海氷研究が行われた。そして1960年代に入り、北極海での石油の発見は、資源開発を目的とした海氷の工学的な研究を大きく発展させることとなった。

氷海で石油や天然ガスを開発する場合、掘削施設には移動氷盤による氷力が作用する。従って、構造物の設計や建造のためには、構造物に作用する氷力を正しく評価しなければならない。北極海での石油資源の探査や開発が始められた1960年代、北極海と地理的に近い北欧や北米の諸国において、海氷や耐氷構造物に関する研究が本格的に始まった。日本では1930年代に始まる中谷宇吉郎博士の雪の研究や1960年代からのオホーツク海の流氷観測が主であったが、1970年代に入り海氷の工学的研究が行われるようになった。そして1980年代に入り、北米オイルメジャーによる北極海向けの石油掘削リグの建造が日本の造船所で行われた。SSDC（1982年、日立造船（株））、Kulluk（1983年、三井造船（株））、Molikpaq（1984年、旧石川島播磨重工業（株））、およびSuper CIDS（1984年、旧日本鋼管（株））の建造は、当時の日本の造船技術と海氷研究が高く評価された結果であった。その後、日本の氷工学をさらに前進させるべく1993年から8年間行われた「海洋構造物に作用する氷荷重研究プロジェクト」（通称「JOIA氷荷重研究プロジェクト」）には、産学官から多数の研究者や技術者が参加し、その最先端の研究成果は国際的に高く評価された。しかし1985年のプラザ合意以降の円高は、日本の製造業の国際競争力を徐々に弱める結果となり、1990年代以降日本での新たな氷海構造物の建造を困難なものとした。世界的に高い評価を得た日本の海氷研究が、必ずしも製造業の受注に結びつかない結果となった。

2000年代に入り、地球の温暖化とともに海氷は縮小している。特に北極海の夏季の氷は急激に減少しており、それが地球環境に与える影響が危惧されている。一方、北極海の氷の減少は、北極海航路という新たな産業の動脈を構築しつつあり、北極海を利用した石油・天然ガス資源の輸送やアジアと欧州間の貨物輸送は年々増加している。日本には1956年に始まる南極観測船「宗谷」から2代目「しらせ」までの建造で培った高度な砕氷船技術がある。そして2026年には北極域研究船の就役が予定されている。地球温暖化と北極海の海氷の減少、地球規模の気象変動に対する北極域の科学技術研究への日本の役割は大きい。本書で辿った海域氷工学の技術発展史が、今後の北極域における日本の科学技術の貢献の一助となれば幸いである。

■ Abstract

Ice can occur as frozen seawater, glaciers, ground ice, frozen river water or water vapor. This article focuses on sea ice and traces the historical development of research and engineering technology thereof. Sea ice research has been conducted in the Arctic Ocean, Antarctic Ocean, Sea of Okhotsk, Baltic Sea, Caspian Sea, and Bohai Sea, whose waters freeze over in winter (and, in some cases, in summer, too). The first interactions between humans and sea ice were voyages in which mankind explored the frozen seas. Following many tragic expeditions to explore the Arctic, in the late 19th century, Nordenskiöld accomplished the Northeast Passage of the Arctic Ocean through the Russia Siberian coast. Then, in the early 20th century, Nansen and Amundsen successfully pioneered the Northwest Passage, through the Canadian Arctic Archipelago. During this period, the Arctic Ocean was developed for the purpose of “exploration.” After World War II, the Arctic became a focus of strategic concern in the Cold War, and sea ice research was carried out by the United States and the Soviet Union for military purposes. Then, in the 1960s, the discovery of oil in the Arctic led to significant developments in engineering research on sea ice, which aimed to develop the oil reserves.

When extracting oil or natural gas from ice-laden seas, extraction facilities are susceptible to the force of moving ice fields. To design and build these structures, it is essential to accurately assess the ice dynamics that operate on them. When exploration and development of Arctic oil resources began in the 1960s, countries close to the Arctic Ocean in northern Europe and North America undertook more research on sea ice and ice-resistant structures. Japanese research centered on Ukichiro Nakaya’s work on snow, which began in the 1930s, and observation of drift ice in the Sea of Okhotsk, from the 1960s; then in the 1970s, engineering research into sea ice began to be conducted. In the 1980s, oil drilling rigs were constructed at Japanese shipyards for Arctic use by the North American “Oil Majors.” As Japanese shipbuilding technology and sea ice research gained recognition, the SSDC (1982, Hitachi Zosen), Kulluk (1983, Mitsui Engineering & Shipbuilding), Molikpaq (1984, Ishikawajima-Harima Heavy Industries), and SuperCIDS (1984, Nippon Kokan) platforms were built. Subsequently, a project to investigate ice loads—the “Study on Ice Load Acting on Marine Structures”—was conducted by the Japan Ocean Industries Association (JOIA) over an eight-year period from 1993, involving a large number of researchers and engineers from industry, academic, and government, and the cutting-edge results that grew from this project were recognized worldwide. However, due to the appreciation of the yen in the wake of the 1985 Plaza Accord, Japanese manufacturing lost its competitive edge, and by the 1990s the prospect of building new ice-laden sea structures in Japan was no longer viable. Thus, although Japanese sea ice research was held in high acclaim worldwide, this did not necessarily create business for Japanese manufacturers.

Since the 2000s, the amount of sea ice has decreased due to global warming. The volume of summertime sea ice in the Arctic, in particular, has decreased substantially, and concerns have focused on the effect of this on the global environment. The reduction in Arctic sea ice is, however, leading to the emergence of a new industrial artery through the Arctic Ocean: Shipments of oil resources and cargo flowing between Asia and Europe via the Arctic route are increasing year by year. Japan has developed advanced icebreaker technology through its shipbuilding activities, from the *Soya* Antarctic observation vessel—first converted for Antarctic exploration in 1956—through to *Shirase II* icebreaker more recently. Moreover, a new Arctic research vessel is due to be put into service in 2026. In the fight against global warming and melting ice, Japan has an important role to play in science and technology research in the Arctic region. It is my hope that this historical study of the development of offshore ice engineering will help advance Japanese science and technology in the Arctic in the years to come.

■ Profile

中澤 直樹 *Naoki Nakazawa*

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

1979年 北海道大学工学部土木工学科卒業

1979年 パシフィックコンサルタンツ(株)

1987～1989年 U.S. Army Cold Regions Research and
Engineering Laboratory

1989年 University of Alaska Fairbanks, Arctic Engineering,
M.Sc.

1989～1997年 パシフィックコンサルタンツ(株)

1991年 工学博士（北海道大学）

1997年～現在 システム工学研究所株式会社取締役社長

2007年～現在 一般財団法人先端建設技術センター参事役

2014～2020年 東京大学大学院新領域創成科学研究科特任研
究員

2021～2022年 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	100
2. そもそも「氷」とは	101
3. 海域氷工学の目的とその変遷	105
4. 雪氷研究の先人達	115
5. 海氷の力学的研究	128
6. 氷海水槽	138
7. JOIA 氷荷重研究プロジェクト	144
8. 氷海構造物	163
9. 日本の砕氷船	179
10. おわりに	185
謝辞	186

大型映像表示装置発展の系統化調査

Systematic Survey on Large-Scale Display Systems

原 善一郎 Zenichiro Hara

■要旨

大型映像表示装置オーロラビジョン（海外名Diamond Vision）は、1980年に米国のMLBオールスターゲームにおいて誕生した。今では屋内外の競技場はもちろん、街中や広場などの公共の場において、ニュース、広告など、映像を通じて人々に共通の情報を伝える手段として普及している。本報告は、このような大型映像表示装置の誕生と発展、そして現在に至る技術を系統的にまとめたものである。系統化では、オーロラビジョン誕生前の先行技術や、技術的背景としての各種平面ディスプレイの技術動向を整理し、大型映像表示装置との関係を調査した。さらに大型映像表示装置の第一世代、第二世代、そして現在の第三世代へと発展した経緯を紹介し、次の世代を目指して挑戦した技術開発を基にイノベーションについて考えている。

オーロラビジョンの誕生前、米国では1800年代の後半から野球の実況を再現する野球盤が公共の場に設置され、試合の速報を人々に伝えていた。簡単な仕組みではあったが、多くの人々が見入ったとされ、後日、野球場に誕生する大型映像表示装置の潜在的ニーズが感じられる。白熱電球が普及すると、電光掲示板が登場し、ニュース速報、広告表示、競技場のスコアボードなどに使用された。ニュース速報は、1928年に大阪の朝日新聞本社で電光ニュース装置が使用された。広告表示は、1958年に大阪道頓堀に設置されたシネサインが動きのある画像を初めて表示している。競技場のスコアボードは、1958年に竣工した国立霞ヶ丘陸上競技場に設置され、同年のアジア競技大会や1964年の東京オリンピックで活躍した。その後、野球場においてモノクロの文字やアニメーション画像を表示するスコアボードが登場し、1970年代には、国内外とも競技場において、濃淡のあるビデオ映像が表示できるようになる。何れも白熱電球を配列したモノクロディスプレイである。

大型映像表示装置は、サイズが巨大であり、平面ディスプレイとは独立して発展してきたが、最も早く実用化された平面ディスプレイでもある。この平面ディスプレイを構成する各種表示デバイスは、タイル状に配列することで、大型映像表示装置が構成された経緯がある。本報告では、表示デバイス全体について技術動向を俯瞰し、文字・数字の表示から画像の表示へ、そして平面テレビへの発展、さらに表示デバイスを配列することによる大型映像表示装置への影響を述べている。

大型映像表示装置オーロラビジョンは、オイルショックにより事業の継続に危機感を覚えた当時の船舶技術者を中心に開発・事業化された。屋外の直射日光下で十分な輝度のカラー映像を表示するには、高輝度発光素子の技術革新があり、さらに高価なオーロラビジョンの事業化には、船舶技術者が自ら世界の市場を奔走した。ここにイノベーションとは、技術開発に加えて、事業として社会に貢献するための活動が必要なことを考えさせられる。そして各社がこの市場に参入し、第一世代の大型映像表示装置の市場が本格的に立ち上がる。

第一世代の大型映像表示装置は、何れも十分な視距離を必要とした。これに対し第二世代の大型映像表示装置は、各社が独自の高解像度発光素子を開発し、視距離が短縮され、屋内を含む新たな市場に進出した。大型映像表示装置は、第一世代から第二世代へと各社が競い合う様に高解像度化・高輝度化し、コストが削減され、それぞれの特徴を生かしながら市場を拡大している。1993年に実用的な高輝度青色LED（Light Emitting Diode）が開発されると、LEDの3原色が揃い、1995年頃からLEDを適用した第三世代大型映像表示装置が開発された。各社が同様のLEDを使うようになり、コストが低下するにつれて世界的な競合が激化した。多数の企業がこの分野に参入したこともあり、各社の技術を個別に調査することは避け、LEDの時代における大型映像表示装置の技術動向と特徴的な技術について述べる。

大型映像表示装置は、第三世代に入ると、多様な発展を遂げるが差別化が難しくなった。その中で次世代の大型映像表示装置を目指して果敢に挑戦し、世界的に評価された開発事例がある。独創的ではあったが、事業としての実績は限定的であった。ここでは新技術への挑戦の価値とイノベーションについて考え、挑戦無くしてイノベーションは生まれないことを述べている。

■ Abstract

Diamond Vision (Japanese name: Aurora Vision), a large-scale video display, was first introduced in 1980 at the Major League Baseball (MLB) All-Star Game in the United States. Today, it is widely used not only in indoor and outdoor stadiums, but also in public places such as streets and plazas, as a visual means of sharing common information, including news and advertisements. This article systematically summarizes the emergence and development of such large-scale video displays, and their technologies, from past to present. The technologies that existed before the introduction of Diamond Vision and the technological trends of various flat-panel displays are organized to delineate the technological background, and the relationship of these factors with large-scale video displays is explored. Furthermore, the development of the first, second, and current third generation of large-scale video displays is introduced, and the technical innovation is considered with a focus on the technological developments in which these subsequent generations were pioneered.

In the United States, before the birth of Diamond Vision, baseball billboards were installed in public places in the late 1800s to reproduce the actual scenes of baseball games and deliver breaking news from the games. Although this was a simple system, the billboards were viewed by many people, indicating the potential need for the large-scale video displays that were later introduced in baseball stadiums. With the popularization of incandescent bulbs, electric bulletin boards were developed and used for news bulletins, advertising displays, and scoreboards in stadiums. For news bulletins, an electric news device was used at the Asahi Shimbun headquarters in Osaka in 1928. For advertising, a lighted advertising sign installed in Dotonbori, Osaka in 1958 was the first to display moving images. Scoreboards for stadiums were installed in the Japanese National Stadium in Kasumigaoka, which was completed in 1958, and played an active role in the 1958 Asian Games and the 1964 Tokyo Olympics. Later, scoreboards displaying black-and-white text and animated images appeared in baseball stadiums, and in the 1970s, both domestic and international stadiums began to display grayscale video images. These were all monochrome displays comprised of an array of incandescent bulbs.

Large-scale video displays are huge in size and have developed independently from flat-panel displays, but they were also the earliest flat-panel displays to be commercialized. The various display devices that make up this flat display were also used for large-scale video displays, arranged in tile formation. This article examines the technological trends of display devices as a whole, and describes the development process from letters and numbers to images, and then to flat-screen TVs, as well as the impact of the arrangement of display devices on large-scale video displays.

The Diamond Vision large-scale video display was developed and commercialized mainly by the ship engineers of the time, who were concerned about the future of their businesses due to the oil crisis. The need to display color images with sufficient brightness under direct outdoor sunlight sparked technological innovation in high-brightness light-emitting elements, and in order to commercialize the more expensive Diamond Vision, the ship engineers themselves scrambled to find markets around the world. This suggests that innovation is not only a technological phenomenon but also requires efforts by businesses to ensure that products contribute to society. Then, companies entered the market, and the market for the first generation of large-scale screen video displays was established in earnest.

The first generation of large-scale video displays all required a sufficient viewing distance. On the other hand, the second generation of large-scale video displays saw companies develop their own high-resolution light emitting devices, shortening the viewing distance and entering new markets, including indoor use. The large-scale video display market continued to expand, moving from first- to second-generation, as companies promoted new features and competed with each other to improve display resolution and brightness and reduce cost. With the invention of practical high-intensity blue light-emitting diodes (LEDs) in 1993, LEDs became available in the three primary colors, and around 1995, the third generation of large-scale video displays, which used LEDs, began to be developed. As companies started to use similar LED technology and the cost decreased, global competition intensified. Since a large number of companies have entered this field, rather than scrutinizing each of their technologies individually, the discussion focuses on the technological trends and characteristic technologies of large-scale video displays in the LED era.

The third generation of large-scale video displays has seen diverse developments, but companies have found it difficult to differentiate their products from those of their competitors. In the midst of this, there is an example of a development that boldly rose to the challenge of pioneering the next generation of large-scale video displays, to worldwide acclaim. However, despite its originality, the product has experienced limited commercial success. This article focuses on innovation and the value of pioneering new technologies, concluding that innovation cannot occur without a willingness to push boundaries.

■ Profile

原 善一郎 Zenichiro Hara

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

1981年3月 九州大学大学院電気工学専攻修士課程了
同年4月三菱電機(株)入社、長崎製作所勤務
1982年～ 大型映像表示装置の研究開発に従事
1984年～1985年 三菱電機応用機器研究所(当時)
1986年～ 第二世代大型映像表示装置の開発
2001年 主席技師長
2002年 工博(長崎大学)
2011年 R&D 100 Awards by R&D magazine
(有機EL方式大型映像表示装置の開発)
2017年4月 囑託(大型映像表示装置関連業務)
2018年3月 IEEE History Committee感謝状
(大型映像表示装置のIEEEマイルストーン認定)
2021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	192
2. オーロラビジョン誕生前の大型表示装置	194
3. 表示デバイスの開発と大型映像表示装置	202
4. 屋外用カラー大型映像表示装置の誕生と影響	215
5. 大型映像表示装置の発展と多様化	230
6. 青色 LED と第三世代大型映像表示装置	251
7. 次世代技術への挑戦とイノベーション	260
8. あとがき	269
9. 謝辞	271

複写機の技術系統化調査

Systematic Survey on Copier Technology in Japan

平倉 浩治 Koji Hirakura

■要旨

複写というのは、器具や装置を用いて文書、書画、写真などの複製を作ることである。

複写技術の主流である電子写真は先の大戦の直前に米国でC.F.カールソンにより発明され、戦後にゼロックス社で商品化された。電子写真の画像形成工程は物理量の変換で行われる。光化学反応を用いる青写真、銀塩写真、ジアゾ複写と違って、電子写真は物理変換プロセスを用いるのが特徴である。電子写真の基本的画像形成プロセスは非常に小さな物理量に基づいてこれが進行する。そのため、温湿度などの外乱に非常に敏感な宿命を持っていることにまず理解を深める必要があった。

わが国の複写技術の研究開発は企業主体で行われたので、それぞれの企業の置かれた立場によって違う技術が開発された。ゼロックス社の初期の頃の特許は1985年頃には権利失効して自由技術となり、特許を気にしないで使えるものになりつつあった。しかし単なる模倣では、ゼロックスの後塵を拝することになるという経営者、技術者、研究者も少なくなかった。それぞれの企業、大学研究室の中には新技術を生み出すための熱心な研究開発活動が展開されていた。

本報告の対象期間は1940年から2020年までの80年にわたるが、以下の理由で1970年から1995年までの25年間の事柄を詳しく調査して執筆している。日本では1970年からの25年間は極めて多彩な技術開発が複写機の付加価値を高めるために行われた。主要な企業はカメラ製造業でもあり、文書複写の文字再現は言うまでもなく写真画質の再現にも力を注いだ。また小型化、軽量化、低コスト化の設計が上手く魅力的な外観の商品に仕上げることもできた。1970年頃の日本製複写機は性能の割に大型で高価であった。その後、高速化、高機能化すると共に小型、軽量、低価格化する道を歩んできた。20年後の1990年には重量で1/8、価格で1/4となった。

電子写真は本来、高ガンマ¹⁾のプロセスである。文章、線画の複写には理想的であるが、写真の再現には適していない。画像を光学的なものからデジタル形式に変換してしまうと濃度要素をデジタル的に調節してガンマを最適化できる。1980年代まで、ゼロックスは複写機のデジタル化には殆ど興味がなかったようだ。しかし日本の複写機メーカーはデジタル化によるその再発明の道を選択した。デジタル技術による多機能性とカラー化で複写機の魅力を高める戦略を展開し、複写機を複合機(MFP)と呼び変えた。

デジタル・インフラの進展とともに複合機によるコピーモードでの利用は減少して行き、プリントモードで使われるようになった。さらにデジタル化がすすむと紙文書への依存が減り、電子文書での情報交換が主流になりはじめた。大手複写機メーカーは次の期待される成長分野として、既存の印刷産業に着眼していた。電子写真、そしてインクジェット技術を用いて印刷をデジタル化することで印刷産業のイノベーションを起こすことを企てた。

この報告書は電子写真を用いる複写機事業を本業とする大手企業の製品と技術を調査し、著者の価値観に基づき系統的に記した。日本画像学会の既刊号、関連企業から出版されたテクニカル・レポート既刊号、社史、登録特許などは公式な情報とし適宜引用した。本報告で言及していない技術、製品も多数あると思われるが、これも調査時間、紙面制約、それにCOVID-19パンデミックによる情報ルートの制限に依るものとご理解頂きたい。

1) 階調画像の入力と出力の応答特性を示す特性曲線の直線部の傾き値

■ Abstract

Copying is the use of instruments and devices to make copies of documents, calligraphic works, photographs, etc.

Electrophotography, which is the mainstream of copy technologies, was invented by C.F. Carlson in the United States just before World War II and commercialized by Xerox after the War. The electrophotographic imaging processes are performed through the conversion of physical quantities. Unlike blueprints, silver halide photographs, and diazo copying, which use photochemical reactions, electrophotography is characterized by the use of the physical conversion processes. The basic imaging process of electrophotography is carried out based on extremely small physical quantities. Therefore, it was first necessary to understand that this technology was destined to be very sensitive to disturbances such as temperature and humidity.

Since the research and development of copy technologies in Japan was carried out mainly by companies, different technologies were developed depending on the position of each company. Xerox's early patents expired around 1985, thereby freeing up the technology to be used without worry of patent infringement. However, few managers, engineers and researchers believed that mere imitation would be enough to overtake Xerox's lead. Enthusiastic research and development to create new technology developed in companies and university laboratories.

This report covers the 80-year period from 1940 to 2020, but the author has investigated and wrote about the 25-year period from 1970 to 1995 in detail for the following reasons. In Japan, during the 25-year period from 1970, a wide variety of technological development took place to increase the added value of copiers. The major companies were also camera manufacturers, and they focused not only on reproducing the characters in the document copy, but also on reproducing the image quality of the photographs. In addition, they were able to yield an attractive finished product by successfully designing it to be smaller, lighter and more economical. Japanese copiers around 1970 were large and expensive for their performance. They subsequently became smaller, lighter, and more economical while also becoming faster and more sophisticated. Twenty years later, in 1990, they were one-eighth of the weight and a quarter of the cost.

Electrophotography is essentially a high gamma¹⁾ process. It is ideal for copying texts and line images, but not suitable for reproducing photographs. Once the image is converted from optical to digital, the density factor can be digitally adjusted to optimize gamma. Until the 1980s, Xerox seemed to have little interest in digitizing copiers. However, Japanese copier makers decided to go digital and thus reinvent the copier.

They have developed the strategy to increase the attractiveness of copiers through their multi-functionality and colorization using digital technology, thereafter renaming the copier 'MFP' (multifunction peripheral or multifunction printer).

With the development of digital infrastructure, the use of MFP as a copier has decreased, and they are now more commonly used as printers. Furthermore, as digitalization progressed there was decreased dependence on paper documents, and information exchange using electronic documents began to go mainstream. Major copier makers looked at the existing printing industry as the next promising growth area. They attempted to innovate the printing industry through digital printing using electrophotographic and inkjet technologies.

This report investigates the products and technologies of major companies whose main business is the electrophotographic copier business, and systematically describes them based on the author's values. The published issues of the Imaging Society of Japan, technical reports published by related companies, corporate history, registered patents, etc., have been taken as official information and cited as appropriate. There are likely many technologies and products that have been overlooked in this report; however, the author faced restrictions in terms of research time, page space, and information routes due to the COVID-19 pandemic.

1) The slope value of the linear part of the characteristic curve that shows the response characteristics of the input and output of the gradation image

■ Profile

平倉 浩治 *Koji Hirakura*

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

1970年 佐賀大学理工学部物理学科卒業
同年株式会社リコー入社
複写・画像技術の研究開発に従事
1992年 リコー画像技術研究所 所長
2007年 リコー理事
2008年 日本画像学会 会長
2011年 リコー退社
2011年 HiRAK 代表

■ Contents

1. はじめに	280
2. 筆写、複写、印刷	281
3. 複写技術の発明と黎明	284
4. 国産複写機の誕生	294
5. 市場拡大と技術の多様化	306
6. 技術の理解と製品の系列化	315
7. デジタルによる再発明	339
8. 複写機技術の印刷への展開	354
9. 複写機の未来	369
10. あとがきと謝辞	376

航空機用アルミニウム合金の系統化調査

Systematic Survey on the Development of Aluminum Alloys for Aircraft

吉田 英雄 Hideo Yoshida

■要旨

戦前の日本のアルミニウム工業は航空機用材料の生産が中心であった。その材料開発の中で世界最強の超々ジュラルミンが発明された。それが零戦主翼に採用されたことで零戦の性能を飛躍的に向上させ、零戦は先の戦争初期には華々しい成果をあげた。米軍は零戦の秘密を解き明かそうとして、不時着した零戦を調べ、その主翼にAl-Zn-Mg-Cu系合金の超々ジュラルミンが使用されていることを明らかにし、アルコアに同じような合金を作らせた。これが7075であり、戦後の代表的な航空機用合金となり現在でも使用されている。超々ジュラルミンが7075の産みの親と言える。アルミニウム発見から超々ジュラルミン開発に至るまでの合金開発に焦点を当て、日本の航空機用アルミニウム合金開発の系統化調査を行った。そして戦後世界の航空機と材料開発の発展との関係も明らかにした。以下にその要点をまとめる。

第一は、アルミニウムの発見である。アルミニウムは1820年代にエールステッドやヴェーラーにより金属アルミニウムが初めて抽出された。その後1855年にはナポレオン3世に後押しされたドヴィルが量産できる工場を作るところまでになった。1886年米国のホールとフランスのエルーが同時に熔融塩電解法を発明し、大量生産ができるようになり大幅にコストダウンが可能となった。こうして20世紀に入ると台所用品や建築、車などにアルミニウムが多く使用され始めた。

第二は、1906年、ドイツのヴィルムによって、偶然にアルミニウムに銅とマグネシウムを添加した材料を焼入れした後、室温に放置しておくで自然に硬くなる時効硬化現象が発見された。このAl-Cu-Mg系合金はジュラルミンと名づけられた。この材料を飛行船の骨組みの材料に適用したのがツェッペリン伯爵である。ドイツは第一次世界大戦でツェッペリン飛行船をロンドンなどの空爆に利用した。しかしながら、一方で、飛行船より速い航空機も発達して、飛行機は木製からジュラルミンを用いた全金属製となった。戦争で勝利を収めるには軽量で高速の戦闘機が必要になり、ジュラルミンよりもさらに高強度が求められるようになった。こうした要請のなかで、米国のアルコアはAl-Cu-Mg系の超ジュラルミン24S(2024)を開発した。

第三は、日本海軍は24Sよりもさらに高強度の合金開発を住友に要求した。その結果開発されたのが超々ジュラルミン,ESDである。住友の五十嵐勇らはAl-Zn-Mg-Cu系合金で高強度化を達成したが、問題は応力腐食割れであった。彼らは応力腐食割れの評価法を確立し、微量元素の影響を徹底的に調べた。その結果Cr添加が最も有効であることを明らかにし、開発開始から1年以内に特許を出願した。この合金に注目したのが、三菱で零戦の試作機の設計に当たっていた主任技師の堀越二郎であった。彼は五十嵐からの説明を聞いて、飛行機の重量は30 kg軽くなることがわかり、すぐに海軍に使用許可を願い出て、押出材での使用が認められた。その結果、ESDを主翼の桁材に用いることで零戦の軽量化に成功した。

第四は、第一次世界大戦の頃の日本はアルミニウム板材を大量生産できる機械や設備、人材もなかった。第一次世界大戦で日本はドイツに対して戦勝国であったので、賠償の一環としてドイツの技術を学ぶことができた。第一次世界大戦も終了すると、アルコアはアルミニウム地金を売るために日本にも進出して住友と共同でアルミニウムの板や押出、鍛造品の製造工場を作ることになった。日本はドイツや米国の技術をベースに製造技術確立した。しかし、第二次世界大戦までにはアルコアは製造技術をさらに進化させ、連続鋳造技術や熱間圧延でのタンデム圧延技術を完成させ、先の戦争では日米間で大きな技術力の差ができた。

第五に、第二次世界大戦後は日本の航空機の製造や研究が禁止され、多くの航空機関係者は、鉄道車両、自動車、モーターサイクルに移った。鉄道車両の構体のアルミ化が検討され、戦前、研究開発されたAl-Zn-Mg-Cr系の押出材が適用された。応力腐食割れ防止のためにCrが添加されたが、焼入れ感受性が敏感なため冷却速度が遅くなると強度が出にくいのが問題で、五十嵐らの研究を受け継いだ馬場義雄はZrを添加して焼入れ感受性を鈍感にしたAl-Zn-Mg-Zr合金7N01(7204)を世界に先駆けて開発した。さらに馬場により7204のMg量を低減させ押出性を向上させた7003が開発され、新幹線の車両構体を初め自動車のバンパーやトレーラーのコンテナ、モーターサイクルのリムなどに適用された。

■ Abstract

Before World War II, Japan's aluminum industry was mainly focused on the production of aircraft materials. In the process of developing these materials, the world's strongest aluminum alloy was invented. The use of this material in the main wings of the Zero fighter, named after the Type Zero Carrier-Based Fighter, dramatically improved its performance, helping it achieve spectacular results in the early stages of the Pacific War. In an attempt to unlock the secrets of the Zero fighter, the U.S. military examined Zero fighter planes that had been crash-landed and discovered that their main wings were made of an Al-Zn-Mg-Cu alloy called Extra Super Duralumin (ESD), and had Alcoa produce almost the same alloy. This is 7075 alloy, which became the typical aircraft alloy after the war and is still used today. It can be said that ESD is the originator of 7075. Focusing on the development of alloys from the discovery of aluminum to the development of ESD, we conducted a systematic survey of the development of aluminum alloys for aircraft in Japan. The relationship between the development of materials and aircraft in the postwar period was also clarified. The main points are summarized below.

The first is the discovery of aluminum. In the 1820s, the first metallic aluminum was extracted by H. C. Ørsted and F. Wöhler. Then, in 1855, Sainte-Claire Deville, encouraged by Napoleon III, built a plant capable of mass production. In 1886, C.M. Hall in the United States and P. Héroult in France both invented the method of molten salt electrolysis at about the same time, which enabled mass production and significantly reduced costs. Thus, in the 20th century, aluminum began to be widely used in kitchenware, construction, cars, etc.

Second, in 1906, A. Wilm in Germany serendipitously discovered the phenomenon of age hardening, which occurred when aluminum with copper and magnesium was quenched and left at room temperature to harden naturally. This Al-Cu-Mg alloy was named Duralumin. It was Count Zeppelin who applied this material to the framework of airships. In World War I, Germany used Zeppelin airships to bomb London and other cities. At the same time, however, faster airplanes than airships were developed, and airplanes went from being made of wood to being made of all-metal with Duralumin. In order to win the war, lighter and faster fighter planes were needed, and the aluminum alloy had to be even stronger than Duralumin. In response to these demands, the Al-Cu-Mg based alloy, Super Duralumin 24S (2024) was developed by Alcoa in the United States.

Third, the Japanese Navy requested Sumitomo to develop an alloy with even higher strength than 24S. The result was the development of Extra Super Duralumin (ESD). Isamu Igarashi and his colleagues at Sumitomo achieved high strength with an Al-Zn-Mg-Cu alloy. However, the problem of stress corrosion cracking remained. They established an evaluation method for stress corrosion cracking and thoroughly investigated the effects of trace elements. As a result, they found that addition of Cr was the most effective countermeasure and applied for a patent within a year of starting the development. This alloy attracted the attention of Jiro Horikoshi, a chief engineer at Mitsubishi who was working on the design of the Zero fighter prototype. After hearing Igarashi's explanation, he realized that the weight of the plane could be reduced by 30 kg, and he immediately requested permission from the Navy to use the alloy in extruded materials. As a result, he succeeded in reducing the weight of the Zero fighter by using ESD as a spar of the main wing.

Fourth, at the time of World War I, Japan did not have the machinery, equipment, or human resources to mass produce aluminum alloy sheets. Since Japan was the victor against Germany in World War I, it was able to learn German technology as part of the reparations. After World War I ended, Alcoa expanded into Japan to sell aluminum ingots, and worked with Sumitomo to build a plant to manufacture aluminum sheets, extrusions, and forgings. Japan's manufacturing technology was based on those of Germany and the United States. However, by the time of World War II, Alcoa had further developed its manufacturing technology, perfecting continuous casting technology and tandem hot rolling technology, and the Pacific War created a huge technological gap between Japan and the United States.

Fifth, after World War II, Japan was prohibited from manufacturing and researching aircraft, and many aircraft developers moved on to railroad cars, automobiles, and motorcycles. The use of aluminum for the body structure of railroad cars was considered, and Al-Zn-Mg-Cr extrusions, which had been researched and developed before the war, were applied. Cr was added to prevent stress corrosion cracking, but this

time it was difficult to obtain high strength when the cooling rate was slow because of high quench sensitivity. Yoshio Baba, who continued the research of Igarashi, developed Al-Zn-Mg-Zr alloy 7N01 (7204) with low quench sensitivity by adding Zr, ahead of the rest of the world. In addition, Baba developed 7003, which has improved extrudability, achieved as a result of reducing the amount of Mg in 7204, and this has since been used in Shinkansen train bodies, automobile bumpers, trailer containers, and motorcycle rims.

■ Profile

吉田 英雄 *Hideo Yoshida*

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

- ・ 1975年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了
- ・ 1975年 住友軽金属工業株式会社入社
- ・ 1988年 同，技術研究所 金属材料研究部
主任研究員
- ・ 1991年 学位授与 工学博士（京都大学）
- ・ 1996年 同，研究開発センター 第一部長
- ・ 2004年 同，理事 研究開発センター 特別研究員
- ・ 2007年 同，常務執行役員待遇理事
研究開発センター 常務研究員
- ・ 2009年 軽金属学会副会長
- ・ 2013年 研究開発センター顧問 その後合併により
株式会社UACJ 技術開発研究所顧問
- ・ 2015年 軽金属学会賞受賞
- ・ 2017年 UACJ退社，超々ジュラルミン研究所設立
軽金属学会名誉会員
- ・ 2020年 日本金属学会フェロー認定

■ Contents

1. はじめに	386
2. 19 世紀におけるアルミニウムの発見と 製錬技術の確立	387
3. 20 世紀における急速なアルミニウムの 地金の生産と市場の形成	392
4. ジュラルミンおよび超ジュラルミンの開発 ..	401
5. 日本におけるアルミニウム材料の生産	421
6. 日本のアルミニウム合金の研究開発	439
7. 超々ジュラルミンの開発	447
8. 堀越二郎と艦上戦闘機	461
9. アルコアの 7075 開発と ESD 以降の 日本の合金開発	470
10. 第二次世界大戦後の航空機材料の発展	477
11. おわりに	489