

情報用紙製造技術の系統化

Survey on Technologies Developed in Communication Paper Production in Japan

1

飯田 清昭 Kiyooki Iida

■ 要旨

20 世紀中頃から出現したコンピュータにより新しい情報の処理・伝達の方法が生まれると、それに合わせて情報用紙として分類される紙が開発されてきた。1970 年以前ではコンピュータ用の統計機カードであり、テレックスのさん孔テープであった。日本の製紙産業はこれらの高価な特殊紙と言うべき紙を国産化することで技術力を高めてきた。1970 年代に入ると、情報処理分野で力をつけてきた日本の電機メーカーや事務機メーカーが世界と対等のレベルで技術開発を進める。それに引っ張られるように製紙会社も関連する情報用紙の技術開発に参画した。製紙会社の間では、情報用紙が新しい紙の分野として期待されていたこともそれを推し進めた。

具体的には、ファクシミリであり、コピー機であった。日本では漢字を扱えることが求められ、それまで普及していたテレックスに代わるものとしてファクシミリの開発に大きなエネルギーが投入された。1970 年代には、そのシステムとして放電記録、静電記録、感熱記録等が競合したが、開発間もない感熱システムがその主流となった。感熱紙は、NCR が開発した複写システムであるノーカーボン紙の技術から派生したもので、ポイントは、装置が簡単で、使用する感熱紙のコストが単層塗工のため他の方式より安いことであった。この感熱システムは、ファクシミリが高速化するのに合わせて品質が高度化し、結果として、テレックスに拘った欧米に対して装置、用紙共に抜きん出た日本の製品が世界に広がっていった。

コピー機の分野でも、日本メーカーがゼロックスに対抗して技術開発を進め、低価格の高速機を開発し、市場が急速に拡大していった。この印字方式は、ノンインパクトプリンタやレーザービームプリンタにも利用された。この過程で、高速で印字する際の紙の走行性が問題となり、その主要原因が紙面でのパルプの配向にあることが日本で見出され、抄紙機の上で管理する技術が開発された。これらの技術発展により 1980 年代に紙の使用量が急増し、オフィス古紙の回収が社会問題となった。

1980 年代の成功で輸出展開していた感熱紙は、急激な円高で現地生産に代わっていった。そして、さらなるファクシミリの高速化、レーザープリンタの低価格化から、ファクシミリの主役の座を奪われる。そこへ電子メールが追い打ちをかけた。これに対し、感熱方式はプリンタが簡単なことを武器にリテール分野（レジロール、値付けラベル等）へ転身する。ここでは、皮肉にも多層塗工により要求品質を満たすこととなった。

1990 年代に入るとインクジェットプリンタが急速に普及する。インクジェットプリンタは水性インクを使用するため今までと異なった紙の品質を求める。これにたいし、製紙会社は感熱紙に続くものとして開発に注力した。この方式は個人向けの印刷（文書の印刷からデジタル写真のプリントアウトまで）から大型の商業印刷にまで利用され、それに合わせた用紙の開発がすすめられている。

2000 年代に入って、情報がネットワークで保持されることで、情報流通の方式が大きく変化している。それは紙の使用方法にも変化を引き起こし、使用量の減少となっている。

情報用紙の技術開発から日本の特徴と言えるものが見える。時系列として、まず、輸入品の国産化で力をつけ、国内の競争で技術レベルを高めて世界をリードするまでなり、それを武器に輸出、海外生産と展開する。同じことが電機メーカーや事務機メーカーを含めあらゆる業界で時期を合わせたように起きている。そして、日本全体が一つの動きに纏まったことで分厚いインフラが形成され、1980 年代以降の日本の発展の原動力となっていたと推論する。その要因として、狭い国土のため情報がより早く効率的に共有されたことを上げたい。

現在では、グローバル化、インターネット等による情報の共有化により、以前の日本の情報伝達の優位さが失われている。新しい時代に合わせて、競合相手より、情報をより早く効率的に運用するシステムを作り上げるのが急務であろう。

■ Abstract

The computer, which was invented in the midst of the 20th century, has changed the way of processing and transferring information among people. As new systems have been developed one after another, new types of paper have also been developed alongside these systems, and they have been labeled “communication paper” as a group. In the 1950s and 1960s, the main such product was punched cards and punched tape, which were used to input data. Because they were imported and expensive, Japanese paper companies strived to manufacture them by themselves and were highly successful. This effort greatly improved the capabilities of the paper companies.

In the 1970s, facsimile (“fax”) machines and plain paper copiers (PPCs) were targets for product development. As Japanese companies had already acquired a certain level of technological ability, they soon became competitive with world-leading companies. The paper companies were involved in the R&D efforts by supplying paper for their printouts.

The facsimile machine looked very promising, and therefore, many electrical product companies got into the market and competed fiercely with each other with help from the paper companies. Although the telex system was commonly used in other countries, the Japanese preferred facsimiles because their complicated kanji characters were difficult to transfer by telex. Several systems such as electric discharge recording, electrostatic recording, and thermal recording were in rivalry. Thermal recording became dominant in the market because thermal printers were easy to handle and the paper was less expensive than others due to its single-layer coating. The fierce competition continued, which led to the development of advanced and refined products (machines and paper), which were successfully exported worldwide.

Japanese manufacturers worked hard to develop models of PPC machines that were inexpensive and that operated as quickly as those made by their rivals in the world, after the patents held by Xerox expired. The products were welcomed in the market, which expanded very quickly. This type of printing system was also applied to non-impact printers (NIPs) and later to laser beam printers (LBPs). As printing speeds increased, the printers, especially NIPs, required ever higher performance from the paper used with them. The fiber orientation in the sheet was found to be critical in satisfying this requirement, and thus, techniques to control it in the paper machine quickly became common in Japan. Then, the paper machine itself was redesigned, and an on-machine sensor was developed.

In the 1980s, the export business of thermal paper was hurt by the strong yen. Thermal paper makers set up manufacturing units abroad, including in Europe and the U.S. Then, facsimile machines were overtaken by other systems that used plain paper such as LBPs. Further, the increasing use of e-mail diminished even the market itself. Manufacturers of thermal systems, making use of their simplicity, explored new applications in the retail industry such as register rolls and food labels. Ironically, these applications required a multi-layer coating on the sheet.

In the 1990s, the inkjet printer surged into the market, although its development took a fairly long time. Because the ink used in these printers is aqueous, a different kind of quality is necessary for the paper. Paper companies took it to be a successor to thermal paper and have developed various kinds of ink jet paper suitable for documents, digital photos, and large commercial printing runs.

In the 2000s, an evolutionary change is occurring in communication, and more and more information is being stored in the network. This is changing the way paper has been used, and its consumption will undoubtedly decline.

The history of product development in communication paper shows certain characteristics in Japan. First, by substituting imported products with locally made ones, the technological level was improved. Then, fierce competition in Japan led to the products being refined to the highest quality, and they were then successfully exported worldwide. Similar moves occurred in every industry over the same course of time. Because of that spontaneity, a large and efficient nationwide infrastructure was quickly built in Japan, which was a driving force for growth in the 1980s and on. One factor that helped to spur the spontaneous growth was that information was exchanged rapidly and efficiently in Japan, where many people live in a small land area.

As the world becomes more globalized, and information is increasingly stored in the network, the advantage of this quick information exchange in Japan is disappearing. Japan therefore needs to develop a new model that fits the new generation.

■ Profile

飯田 清昭 *Kiyoaki Iida*

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35年 東京大学工学部応用科学科卒業
同 年 十條製紙株式会社入社
昭和40年 トロント大学大学院化学工学科卒業(修士)
平成 2年 十條製紙(株)中央研究所長
平成 5年 紙パルプ技術協会 専務理事
平成15年 同 退職
平成 2年より平成12年まで九州大学非常勤講師
現在、製紙産業技術遺産保存・発信活動にボランティアとして協力している。
学協会賞 昭和60年 紙パルプ技術協会賞
昭和61年 紙パルプ技術協会賞

■ Contents

1. はじめに	3
2. 情報用紙概説	4
3. 情報用紙の変遷	6
4. 紙製造技術概説	13
5. 1970年代までの情報用紙各論	35
6. PPC用紙の技術開発	44
7. 感熱紙の技術開発	50
8. インクジェット用紙の技術開発	63
9. 情報用紙の変遷から見える日本の技術開発	73
情報用紙製造技術の系統化図	78
情報用紙の登録候補一覧	79
謝辞	80
情報用紙技術開発年表	81

ガス機関技術の系統化調査

Historical Development of Gas Engine for Industry and Marine Use

2

岩淵 文雄 Fumio Iwafuchi

■ 要旨

ガス機関は原動機の仲間であるが、広く世間に知られているガソリン機関、ディーゼル機関、蒸気機関、ガスタービン（ジェットエンジン）などに比べるとややマイナーな存在であったと言えると思う。しかし外燃機関である蒸気機関を除くと、内燃機関としては最も古い原動機であり、1820 年ころから実用化が始まり、1910 年代には世界で最も活躍した原動機であることも一般には知られていない。

しかし近年の大気汚染防止や温暖化防止など、地球環境保全が強く叫ばれている中でクリーンなエネルギーである天然ガスを燃料とするガス機関は環境に優しい原動機として、再び脚光を浴びている。

最初に実用化された原動機は、1712 年にイギリスで発明された蒸気機関で、炭鉱の水を汲み上げるポンプ用としてこの蒸気機関が重宝され、それまで使われていた馬を炭鉱から追放したとのことである。しかし蒸気を水で冷やす際にシリンダの壁も一緒に冷やされるため、熱効率は 1% 程度であった。1760 年代に産業革命が興ると蒸気機関は多用されたが、このころに登場したジェームス・ワット（英）は効率向上に取り組み、復水器を発明して効率を 5% にまで向上させた。

1792 年にイギリスで石炭ガスの生成法が発明されて、ガス機関が考案された。1823 年に作られたガス機関は、初期の蒸気機関と同様に爆発真空機関であり、熱効率は約 10% と云われているが、信頼性の面でまだ蒸気機関を駆逐するまでには至らなかった。

1860 年、ルノアール（仏）が発明した複動式・電気点火のガス機関は、無圧縮であったため熱効率は約 4% であったが、非常に滑らかに運転できたので評判が良く、多方面で使用された。

1876 年にニコラス・オットー（独）はダイムラーらと、4 サイクル・ガス機関を発明し、実用化した。熱効率は約 14% に向上してガス機関は確固たる地歩を築き、世界中に普及して行った。

こうしてガス機関は全盛期へと向かい、1910 年代には 3000 馬力という巨大ガス機関が生まれたが、第一次世界大戦の終結（1918 年）とともに、移動動力用として取り扱い易い液体燃料を使うガソリン機関やディーゼル機関に原動機としての主要な地位を奪われ、1930 年代にはほとんどその姿を消した。因みにガソリン機関は 1883 年にダイムラーによって実用化され、ディーゼル機関は 1893 年にルドルフ・ディーゼル（独）によって発明され、1897 年に実用化された。

わが国にはガス機関は 1882 年（明治 15 年）に初めて輸入され、吸入ガス発生装置が普及するとまだ電気がない地方の工場や小型船舶の動力用として広く使用され、太平洋戦争前まで多くの小型ガス発動機やガス機関が全国で活躍した。

ガス機関に復活の兆しが見えたのは、1950 年代に入り中東で大油田が発見され、同時に発生する天然ガスを有効に活用するため、1960 年代に液体燃料とガス燃料を併用できるデュアルフューエル（DF）機関が開発されてからである。1959 年には LNG 船が試作され、世界各地で天然ガスが利用できるようになると、ガス機関や DF 機関が再び普及し始めた。

1986 年に電力に関する規制緩和があり、コスト低減を重視する企業にコージェネレーション（熱電併給）システムのキーハードとして、各種の原動機が採用されたが、ディーゼル機関に比べて熱効率が低いガス機関は、NOx の規制が厳しい大都市の近辺に限られた。

しかし環境保護政策が強化されると、環境に優しいガス機関が注目されるようになり、2000 年ころからエンジンメーカーもこの動きに応じ、積極的に技術開発を続けた。技術開発の命題は環境保護と経済性の追求であり、開発の過程で希薄燃焼方式の実用化、マイクロパイロット着火方式の実現、ミラーサイクルの採用、ノッキング抑制技術の開発、電子制御技術の応用など数々の新技術を生み出してきた。その成果として、ガス機関の熱効率や出力はディーゼル機関とほぼ匹敵するまでに向上し、同時に低 NOx 化も達成してコージェネのキーハードの主役として成長を遂げてきた。

近年では、船舶用機関の分野でも LNG や天然ガスを燃料とするガス機関や DF 機関が開発され、北欧のフェリーや LNG 船の主機関として採用が増えている。

このように社会状況の変化の中で、ガス機関は一度世の中から忘れ去られたが、第 2 次大戦後復活を果たし、近年は地球環境保護運動の活発化に伴って大きな注目を集めて国内外のメーカー各社はこぞって高性能ガス機関の開発に注力してきた。本稿は主に 1980 年（昭和 55 年）以降のわが国のエンジンメーカーのガス機関関係の開発技術について、系統化調査を行った結果についてまとめた。

■ Abstract

Although gas engines are prime movers of one sort, their existence is rarely recognized in comparison with widely known gasoline engines, diesel engines, steam engines, and gas turbines. However, gas engines are the oldest prime movers as internal combustion engines if steam engines, which are external combustion engines, are excluded, and it is not well known by the public that its practical application started around 1820. In fact, it was the prime mover which provided the most remarkable service throughout the world during the 1910s.

However, amid calls for global environmental protection such as air pollution prevention and global warming prevention, gas engines have been highlighted again recently as environmentally friendly prime movers that use natural gas, a clean energy source.

The prime mover put into practical use for the first time was a steam engine invented in the UK in 1712. It was greatly appreciated for use for pumps that pumped water from the coal mines, and it is said that horses that had been used up to then were set free. Nevertheless, cylinder walls needed to be cooled when steam was condensed by water, the eventual thermal efficiency of the steam engines remained as low as 1%. Although steam engines were used widely after the advent of the Industrial Revolution in the 1760s, improvement of efficiency was sought subsequently, and James Watt (UK) appeared on the scene to invent a condenser, which improved efficiency up to 5%.

In 1792, a coal gas production method was invented in UK, and then gas engines were devised. The gas engine produced in 1823 was an explosion vacuum engine similar to steam engines at an early stage. Its thermal efficiency was about 10%, but this gas engine was unable to overtake steam engines from the perspective of reliability.

In 1860, Renoir (France) invented a double-acting and electric ignition type gas engine. Its efficiency was only about 4% due to the non-compression system. However, this engine was accepted with good reputation because of its very smooth operation, and so it was used in various sectors.

In 1876, Nicholas Otto (Germany) invented a four-cycle gas engine jointly with Daimler and others and succeeded in its practical application. The thermal efficiency of this engine was improved to about 14%. Gas engines then established a definite presence and became widely used throughout the world.

As described earlier, gas engines entered their heyday: gas engines as powerful as 3000 horsepower were produced in the 1910s. When World War I ended (1918), gas engines' position as the principal prime mover was supplanted by gasoline engines and diesel engines, which are easily handled as portable power and which use liquid fuel. Gas engines almost disappeared in the 1930s. Incidentally, gasoline engines were put into practical use by Daimler in 1883 and the diesel engine was invented by Rudolf Diesel (Germany) in 1893. It was put into practical use in 1897 by him.

In Japan, gas engines were imported for the first time in 1882 (Meiji 15). After suction gas generators became popular, gas engines were used extensively in local factories where no electricity was available and were used for propulsion of small vessels. Many small-sized gas movers and gas engines played active roles nationwide until the outbreak of war in the Pacific.

Revival of the gas engine occurred when large oilfields were discovered in the Middle East in the 1950s and when dual fuel (DF) engines capable of burning both liquid fuel and gas fuel were invented in the 1960s for effective utilization of natural gas emitted from the oilfields. In 1959, an LNG tanker was constructed for trial purposes. Subsequently, natural gas became available throughout the world, gas engine and DF engines became common again.

In 1986, deregulation of electric power began in earnest. Corporations which placed importance on cost reduction employed various prime movers as key equipment for cogeneration (combined heat and power). However, adoption of gas engines, which are inferior to diesel engines in terms of thermal efficiency, was limited to large cities and peripheral areas where NOx regulations are stringent.

When environmental protection measures were strengthened, environmentally friendly gas engines attracted attention. From around 2000, engine manufacturers continued their technical development, energetically advancing the progression of this movement. The proposition of technical development is pursuit of environmental protection and economic efficiency engendered many new technologies including the practical application of lean combustion in the development stage, realization of a micro-pilot ignition method, adoption of the Miller cycle, development of knock-suppression technology, and application of electronic control technology. As an indication of this progress, gas engines' thermal efficiency and output are improved to a level compatible with those of diesel engines. NOx reduction is also accomplished. Gas engines have undergone remarkable growth as key equipment for use in cogeneration.

In recent years, gas engines and DF engines burning LNG and natural gas have been developed even in the marine engine field. They have been employed as the main engines of northern European ferries and LNG tankers.

Because of changes in social circumstances, gas engines were once forgotten by the world. They later made a comeback after World War II, and are currently attracting the attention of people who are actively concerned with the global environmental protection movement. All domestic and foreign manufacturers have continued to concentrate on the development of high-performance gas engines. This paper summarizes the results of systematic survey of gas-engine-related technical developments promoted by Japanese engine manufacturers since 1980 (Showa 55).

■ Profile

岩淵 文雄 *Fumio Iwafuchi*

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21年 4月 新潟県小千谷市に生れる
昭和44年 3月 東北大学工学部機械工学科卒業
昭和44年 4月 株式会社新潟鐵工所(現新潟原動機)入社
浦和工場設計課に配属 ディーゼルエンジンの設計業務に従事
平成 3年 6月 同社 太田工場設計室長
平成 7年10月 同社 太田工場品質管理室長
平成10年 5月 同社 新潟鑄造工場長(理事)
平成12年 4月 同社 太田工場長(〃)
平成15年 2月 新潟原動機株式会社 品質保証室長(執行役員)
平成18年 7月 同社 技監
平成22年 6月 同社 退職
平成23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	85
2. 原動機と内燃機関	86
3. 原動機とガス機関の歴史	90
4. ガス機関の構造と燃焼	98
5. わが国におけるガス機関の歴史	107
6. 余剰ガス・バイオマスガスの活用と二元燃料機関 (昭和 30 年以降)	111
7. コージェネレーションシステムとガス機関 (昭和 55 年以降)	113
8. 大型ガスインジェクション機関(シリンダ内ガス 直接噴射機関)の開発	130
9. 環境保全とガス機関の高出力化・高熱効率化 (平成 10 年以降)	140
10. 船用ガス機関の開発と実用化	162
11. 海外メーカの最新状況	170
12. 系統化調査のまとめと考察	174
登録資料候補	177
13. ガス機関技術の系統化年表および系統化図	178

テープレコーダーの技術系統化調査

3

Historical Development of Magnetic Recording and Tape Recorder

君塚 雅憲 Masanori Kimizuka

■ 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にはなかったが、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いった。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

カラーネガフィルムの技術系統化調査

A Systematic Survey of Technologies Developed for Color Negative Films

4

久米 裕二 Yuji Kume

■ 要旨

人類には楽しい時間や、感動を受けた状況を思い出として残したいという根源的な欲求がある。しかし、昔は文字に書き、絵に描いて残すしか方法がなかった。ところが、銀塩写真という技術が200年くらい前に発明され、ヨーロッパを中心に発展してきた。そして、この銀塩写真術は、多くの人の努力や優れた発明等により新たな改良を加えることで、産業として徐々に根付き始めた。

日本にも19世紀半ばに銀塩写真の技術が欧米から伝わった。そして、日本人の真摯で緻密な国民性も加わり、国産のフィルムを作ろうと欧米の技術を必死で真似し追いつこうと努力した。粘り強い苦勞と努力を継続した結果、1980年代になると日本企業は独自の銀塩写真技術を創り始めるまでに至った。その後も、日本企業は世界に誇る銀塩写真技術を次々と産み出し、世界の銀塩写真材料業界を牽引していった。

銀塩写真の発明の歴史については、他に幾つかの書籍が出版されているので、ここでは簡単にその歴史と技術内容を紹介するにとどめ、主に1980年代から日本企業がカラーネガフィルム分野において世界最高レベルの技術確立していく状況について記述することとした。

銀塩写真感光材料には、カメラという暗箱一つがあれば、光を当てるだけで美しい風景が簡単に記録できるように沢山の機能が組み込まれている。この銀塩写真感光材料に関して、資料や報告類を可能な限り集め、纏まった記録として報告を後世に残すという観点から、今回の系統化調査を実施した。主たる調査対象は、銀塩写真フィルムの中でも最も感度が高く、かつ多くの機能が詰まったカラーネガフィルムとした。カラーネガフィルムとしては、アマチュアが使用する一般用カラーネガフィルムの他に、営業写真館で使われる営業写真用カラーネガフィルムや映画撮影で使用する映画用カラーネガフィルムを併せて検討対象として調査を進めた。

カラーネガフィルムの発展の歴史は、一言で言うと、見た通りに写る美しい色再現の追及と、いつでもどこでも写真が撮れるように高感度化の追及であった。白黒フィルムからカラーフィルムが発明され、初期の貧弱な色再現から何とか実物に近い色に近づけるため、カラードカプラーやDIRカプラー等の主要技術を筆頭に様々な発明や工夫が行われた。また、被写人物がじっと動かないで我慢しなくても、何時でも何処でも速いスピードでシャッターがきれるようにフィルムの感度が上げられ、露光ラチチュード（露光量の許容度）が広げられた。19世紀初期に発明された世界最古の写真とされるヘリオグラフィーはISO感度が0.00005であったと言われていたが、20世紀末にはカラー写真でISO感度800～1600を常用感度とするまでに至った。まさに、ヘリオグラフィーに対して、カラー化を達成したうえに、更に1000万倍以上もの高感度化を成し遂げたということになる。その発展の歴史の中で、日本企業はISO100から400→800→1600への高感度化、超高感度化に対して先頭を切って開発を推進した。本報告では、このカラーネガフィルムシステムの開発の歴史を記載するだけでなく、商品開発時の苦勞やその中に導入されたハロゲン化銀や機能性カプラー等の重要発明の開発の経緯などについても簡単に紹介する。

デジタルカメラという革新技術が銀塩写真に置き換わった今、再び銀塩写真が一般写真の主役に立ち返る可能性は低いと思うが、カラーネガフィルムの開発で生み出された発明や技術は違う形で将来に受け継いでいかれるものと信じる。困難にぶち当たった時、研究者達はどのような苦勞をして、何を考えて、どんな幸運をつかまえて大発明を成し遂げたのか。この報告書が、若い技術者達の今後の研究活動において、ブレイクスルーのための一助となれば幸いである。

■ Abstract

Human beings have a genuine desire to record the memories of their pleasant and impressive experiences, and could however realize it only by writing and drawing for a long time, until a technology designated as silver halide photography was invented in Europe about 200 years ago. Then, enormous efforts and resultant remarkable inventions made by many people have steadily improved this technology, and made it possible for it to take root in the industry.

Silver halide photography was introduced to Japan from Europe in the mid-nineteenth century. Owing to their sincere and delicate character, Japanese people made extensive efforts to catch up with this technology, particularly that for domestic production of photographic films. As a result of their tenacious efforts and labors, Japanese companies became to develop their own unique silver halide photographic technologies in the 1980s. Subsequently, they became to be one of the leaders in producing silver halide photographic materials with world's highest-class performances.

Since the history of silver halide photography was already dealt with in details in several reference books, it is only briefly described here. Instead, this paper mainly describes the technical progresses for the establishment of color negative films with world's highest-level performance since the 1980s in Japan.

Color negative films are provided with many functions that made it possible to take pictures of beautiful landscapes simply by shedding their light images on them in a camera. Although there are many technical data and reports on color negative films, they are dispersed too widely to be used effectively in future. Taking into account this situation, the present author has collected those data and reports as many as possible, and put them in order here to give a systematic survey on the technologies for color negative films. Color negative films have the highest sensitivity among silver halide photographic materials and are provided with many functions. They include color negative films for amateur consumers, those for business in photo studios, and those for movies.

The history of technologies developed for color negative films is composed of the progresses in color reproduction and sensitivity for taking precise pictures at any time and place. The evolution of black-and-white films was followed by the invention of color films and subsequent progress in color reproduction owing to the development of remarkable technologies such as colored couplers and DIR (Development Inhibitor Releasing) couplers. The sensitivity and latitude of exposure for taking a picture were enhanced so remarkably that one can take a picture only by pressing the shutter of a camera with high shutter speed at any time and any place, even when a photographic subject is moving. In contrast to the oldest photography, heliography that was invented at the beginning of 19th century and had ISO sensitivity of as low as 0.00005, color negative films has become to have ISO sensitivity of 800-1600 at the end of the 20th century, thus achieving sensitivity increase by more than 10 million times for each of three primary colors. In the history of this development, Japanese companies especially promoted sensitivity from ISO100 to 400-1600 and have been taking the lead in realizing ultrahigh sensitivity. This paper is undertaken to describe, not only the progress of color negative films since the 1980s, but also details of hard works endured for the development of important technologies with silver halide grains and functional couplers in color negative films.

Since color negative films are now overwhelmed in market by digital still cameras, they will not play a central role again in ordinary photography in future. However, technologies created during the development of color negative films are expected to be transmitted to new areas developing for future. When researchers encounter difficulties, it might be helpful for them to know what hardships their predecessors faced, how they thought, and what good fortunes they caught to overcome the hardships. The present author would be happy if this paper could be of some help for young researchers to make breakthroughs in their research activities in future.

■ Profile

久米 裕二 Yuji Kume

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44年3月 高知県私立土佐高校卒業
昭和48年3月 大阪大学基礎工学部合成化学専攻卒業(物理化学専攻)
昭和50年3月 大阪大学基礎工学部修士課程修了(物理化学専攻)
昭和50年4月 富士写真フイルム株式会社入社、足柄工場にて製造技術開発に従事
昭和58年～ 足柄研究所に異動。カラーネガフィルム商品化研究に従事
平成10年～ 研究部長としてカラーネガフィルムの商品化研究統括
平成14年～ カラーペーパー、レントゲン写真などの銀塩写真商品開発
平成17年～ 新規材料研究(インクジェット用素材、銀塩ホログラフィー材料など)
平成22年8月 同社を定年退職
平成23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	277
2. 銀塩写真の特徴と分類	278
3. カラーネガフィルムの層構造と主要技術	283
4. 銀塩写真の発明から近代カラーネガフィルム開発までの流れ	286
5. 欧米写真術の日本への伝搬	293
6. 欧米写真技術のキャッチアップと銀塩写真フィルムの国産化(第一次世界大戦から第二次世界大戦まで)	296
7. 第二次世界大戦から1960年代までの日本の写真感光材料産業の発展	300
8. 1970年代のカラーネガフィルムの開発	306
9. 1980年代のカラーネガフィルムの開発	309
10. 1990年代のカラーネガフィルムの開発	323
11. 2000年以降のカラーネガフィルムの開発	332
12. 銀塩写真における重要技術誕生の経緯、秘話	344
13. 日本が世界最高レベルの技術開発を成し遂げた理由の考察	355
14. あとがきと謝辞	358
カラーネガフィルムの系統化図	360
カラーネガフィルムの登録候補一覧	361
カラーネガフィルムの開発歴史年表	362

■ 要旨

接着剤の歴史は古く、人間が道具を使い始めた頃に始まった。旧約聖書の創世記に語られている「ノアの方船」は、水漏れを防ぐために天然アスファルトで内部から隙間を防水していると書かれている。古代バビロニアでは、彫像の眼を固定するために天然アスファルトが使われ（紀元前 4000 年）、紀元前 2000 年頃に栄えたウルの遺跡「ウルのスタンダード」の宝石や貝などの装飾品の接着、メソポタミアのアカディアン宮殿の日干し煉瓦などにも天然アスファルトが使われている。また、古代エジプトでは、棺や家具・パピルスなどを接着するために膠が広く使われていた。

日本における接着剤の始まりは、ヨーロッパと同様に天然アスファルトの使用で 4000 年前の縄文時代には、狩猟に使う弓矢や槍を作るとき、棒の先端を割り、石鏃や鏃に天然アスファルトを塗って挟み込んだ上から藁で縛っていた。漆は、奈良・平安時代には、布を漆で塗り重ねていく乾漆技術が発達して、棺や仏像の作製に使用された。また生漆と砂礫を併用して割れた土器、陶器の修理などに適用された。さらに中尊寺の金色堂や金閣寺でみられるように金箔の接着に使われている。漆単独では接着力に乏しいため、小麦粉、続飯などと混合して接着剤としていた。わが国は仏教伝来以降、獣肉を食する風習があまりなかったため、動物性の膠は使用が遅れ、平安時代の初めに中国から伝わったのが最初と言われている。また、わが国独自の接着剤としては、漆喰、石膏、でんぷん糊（姫糊、続飯、寒糊）や、鳥もち、松脂などであり明治時代に至るまであまり大きな革新はなかった。接着剤の基本的な構成としては、主成分、硬化剤、触媒、溶媒、希釈剤、可塑剤、粘着付与剤、充填剤などがある。このうち主成分は、接着される材料や接着後の実用条件など、接着剤に求められている基本物性や固体物性を支配するメイン材料である。そして現在では殆どの原材料は化学製品である。

本調査研究は、接着剤が基盤技術の発展と共にどのように進化し、諸産業に・社会に貢献してきたかについて、主成分を中心にして時系列的に纏め、系統化を試みたものである。

歴史的に大きな出来事としては、欧州では産業革命、わが国では明治維新と第二次世界大戦である。18 世紀にイギリスで興り、19 世紀にかけてフランス、ドイツ、アメリカ、日本へと伝わっていった産業革命は、機械工業、繊維工業、ゴム工業、交通などに大きな変化をもたらしたが、その結果、接着という工程も重要となってきた。機械・車両の組み立てに溶接、リッベットの接合方法が発達すると共に金属用接着剤が出現した。

また石炭化学工業の一環として、石炭酸、酢酸、ホルマリンなどが合成され、合成樹脂が次々に誕生した。これらの合成樹脂は成形品として使われると共に接着剤として発展していった。セルロイド、フェノール樹脂、ユレア樹脂、ビニル樹脂などである。従来の天然系接着剤の欠点であった接着強さ、耐水性、耐熱性、耐久性などが改良された合成系接着剤が主流となってきた（第 1 の技術革新）。19 世紀後半になると欧米で有機合成化学が進歩をみせ、合成樹脂化学の時代となる。第二次大戦後の接着・接着剤の進歩は飛躍的に発展した。プラスチック工業の発展によって接着剤の原料が多量に安価に得られるようになって、接着剤が進歩し、合成ゴム、ビニル樹脂、エポキシ樹脂など新しいプラスチックが誕生すると共に多方面の用途開発された（第 2 の技術革新）。20 世紀中頃になると、高分子化学、石油化学の発展により多くの合成樹脂が生まれ、汎用化されるようになる。そしてこれらを主成分として取り入れた多様な接着剤が誕生し、接着特性も飛躍的に向上し（第 3 の技術革新）の時代を迎えた。今日では、接着技術は生活と産業のあらゆる分野で重要な働きをしている。例えば近年、炭素繊維と変性エポキシ樹脂の接着技術を組み合わせた新規な複合材料は、軽量化、省エネなどの利点を生かして航空機産業では、アルミ合金の代替として機体の構造部材に適用されている。さらに、自動車部品や風力発電装置の羽など新規用途の開拓が進んでいる（第 4 の技術革新）。今後も、省資源、省エネ、省力化、環境問題などの分野で重要な役割が期待されている。このように接着・接着剤の技術革新の成果は、近代社会構築に大変重要な役割を果たしてきたのである。

■ Abstract

Adhesives have a long history extending from the time human beings first started to use utensils. The Book of Genesis in the Old Testament relates that natural asphalt was used for “Noah’s Ark” to provide waterproofing applied to void spaces from inside, thereby preventing water leakage. In ancient Babylonia, natural asphalt was used to secure the eyes of sculptures (4,000 B.C.). The use of the adhesives was noticed in bonding of ornaments such as jewels and shells in the “Standard of Ur”, remains of Ur, which flourished at about 2,000 B.C., and in sun-dried bricks used in the Acadian palace of Mesopotamia. Furthermore, in ancient Egypt, glue was used extensively for the bonding of coffins, furniture, and papyrus.

In Japan, the use of the adhesives (natural asphalt) started as early as the Jomon Era, 4,000 years ago, in the same fashion as it was used in Europe for the production of bow and arrows, and for spears used for hunting. The end of a stick was cracked. Then natural asphalt was coated onto stone arrowheads or other arrowheads and sandwiched. Subsequently, they were bound with vines. As for Japanese lacquer, dry lacquer technology was developed in the Nara and Heian Periods. Clothes were coated with lacquer and laminated, and were used for production of coffins and Buddhist statues. The combination of raw lacquer and sand gravel was applied to repair cracked clay vessels and pottery vessels. This combination was also used for the bonding of gold leaf, as found with the golden halls of Chusonji temple and Kinkakuji. Adhesion force developed by Japanese lacquer alone was insufficient. Therefore, wheat flour and rice paste were added for use as the adhesive. In Japan, meat-eating habitual practices were not popular from the time Buddhism was introduced. The use of animal glue was delayed. It was first imported from China at the beginning of the Heian Period. No important improvement in adhesives peculiar to Japan such as lime plaster, calcium sulfate, starch powder (rice starch, rice paste, kan-nori (glue made in the cold from the root of the Tororo plant)), birdlime, or pine resin occurred until the Meiji Era. Adhesives comprise primarily a major component, hardener, catalyst, solvent, diluent, plasticizer, tackifier, filling materials, etc. Of these items, the major component is the main material, which governs basic physical properties and solid substance properties required for adhesives such as the material to be bonded and practical conditions after bonding. At present, most raw materials are derived from chemical products.

This research summarizes, chronologically and systematically, how adhesives (mainly major components) have evolved together with the progress of fundamental technology and how they have contributed to industry and society.

As historical events, the Industrial Revolution can be cited as an important influence for technology in Europe, whereas the Meiji Restoration and World War II can be cited for Japan. The Industrial Revolution, which started in UK in the 18th century and which had spread to France, Germany, the United States, and Japan by the 19th century, brought substantial changes in machinery, textile, and rubber industries, as well as transport and distribution, etc. Bonding processes played important roles. Adhesives for metals emerged together with the development of welding technology for the assembly of machines and vehicles, and riveted joints.

Furthermore, as part of the coal chemical industry, synthesis of phenic acid, acetic acid, formalin, etc. was started while synthetic resins were introduced continually. These synthetic resins, which include celluloid, phenol resin, urea resin, vinyl resin, and others, were used and developed for use in the form of adhesives and in molded components. Synthetic adhesives with improved adhesion strength, water resistance, heat resistance, durability, etc., which were said to be drawbacks of the conventional natural adhesives, became mainstream (First technological renovation). In the second half of the 19th century, organic synthetic chemistry progressed rapidly in Europe and the United States, thereby ushering in an era of synthetic resin chemistry. After World War II, bonding and adhesives made rapid progress. Progress in adhesives was supported by the availability of copious amounts of less expensive raw materials for adhesives because of the progress of the plastics industry: new plastics such as synthetic rubber, vinyl resin, and epoxy resin were introduced and applicable fields were developed (Second technological renovation). Around the middle of the 20th century, many synthetic resins were introduced together with progress of high polymer chemistry and petroleum chemistry and were used widely. Diverse adhesives containing these materials as major components were developed; adhesive characteristics were improved remarkably (Third technological renovation). At present, adhesion technology is playing an important role in every field of daily life and industry. In recent years, new composite materials, combinations of adhesion technologies for carbon fiber and degenerated epoxy resin, are applied to structural members of planes in the aviation industry instead of aluminum alloys making use of light weight and energy-saving features. In addition, development of new applications for automotive parts and wind-power generation blades has been taking place (Fourth technological renovation). In the future, adhesion technology is expected to play important roles also in the fields of resource conservation, energy conservation, labor reduction, environmental issues, etc. As described above, outcomes of technological renovation in bonding and adhesives have been contributing greatly to the development of modern society.

■ Profile

柳澤 誠一 Shigekazu Yanagisawa

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35年 3月 立教大学理学部化学科卒業
同 年 4月 横浜ゴム㈱入社 研究所勤務
昭和43年 4月 同上 主任研究員
昭和63年 4月 新材料研究部長
平成 8年 8月 定年退職
平成10年 4月～現在 神奈川県技術アドバイザー
平成11年 4月～平成17年 東京都技術アドバイザー
昭和61年～平成10年 日本接着学会理事

■ Contents

1. はじめに	367
2. 接着剤概説（接着剤を支える基本技術の概説）	368
3. 接着剤の歴史 I 原始時代～明治・大正時代（天然系接着剤）	383
4. 接着剤の歴史 II 明治・大正時代～現在（合成系接着剤）	393
5. わが国における接着剤の歴史をふりかえる	411
6. 構造用接着剤	414
7. 最近の環境規制に対応した接着剤	431
8. まとめ 接着技術の系統化	439
謝辞	444
登録候補一覧	444