

タイヤ技術の系統化

Systematic review of tire technology

石川 泰弘 Yasuhiro Ishikawa

■ 要旨

タイヤは、もともと車輪から始まっている。車輪の始めは丸太を使うとか、それを輪切りにするとかして使っていた。さらに荷車や馬車の車輪として使われて行った。

その後、19世紀の中ごろ、はじめて空気入りタイヤが R.W. トムソン（Thomson）によって発明された。19世紀末には、自動車のための空気入りタイヤが開発された。

日本のゴム工業もこの時期、19世紀後半（明治の半ば）にはじまっている。その後タイヤ工業へと発展した。

日本のタイヤ工業の発展は三期に分けるのが妥当ではないかと考える。

（第Ⅰ期）黎明期—明治期。日本のゴム工業の黎明期に当たっており、初歩的発達をみた。

日本ゴム工業の始まりは、土谷護謄製造所が創設された1886年（明治19年）とするのが一般的である。グッドイヤーによる加硫発見（1839年）から約半世紀後である。

（第Ⅱ期）成長期—大正初めから第二次大戦終戦まで。海外からの技術導入と国産技術化時代（大正～昭和終戦まで）。この時期に国内タイヤメーカーが誕生している。その後戦争の勃発と終戦までは自前技術を発展させ軍事物資としての役割を担った。

（第Ⅲ期）成熟期—戦後から現在まで。戦中は各社とも被害を受けたが、戦後戦禍から立ち上がって、その後のモータリゼーションの発展に伴って急速に発展し今日に至った。

この中で第Ⅲ期の戦後のモータリゼーションの時代は更に三つの時代（1期、2期、3期）に分けられる。

1期は新規原材料が登場した時代であった。それはナイロンという合成繊維の登場であり、合成ゴムの登場であった。この時代は新規原材料を使いこなすための加工技術の時代でもあった（戦後～1960年代）。

2期はタイヤ構造がバイアスタイヤからラジアルタイヤへ変更した時代であった。タイヤ構造が大変化を遂げると同時にそれに伴ってベルト部にスチールコードを使うという材料の大きな変化と製造設備も大きな変更を遂げた。

3期は従来の各要素技術群を総合化し、ラジアルタイヤの性能を向上させた時代である。はじめは、ラジアルタイヤの耐久性の完成の時代であった。スチールコードとゴムの接着問題やゴムの疲労破壊などの耐久性の確保の時代であった（70～80年）。

その後、運動性能の時代があった。燃費性のよいタイヤは転がりやすいので止りにくいという安全性に問題があった。この背反事象の解消問題は現在まで続いている。さらに騒音、振動などの感覚要素が重要視されて総合的完成度の高さが要求されるようになった（80年～現在）。

戦後の技術を見ると大きく言うと技術の進展が、材料（新原料：ナイロン、合成ゴム）、構造（ラジアル化）、材料（ラジアルの材料耐久性、SBRの多様性による転がり抵抗低減）、構造（感覚、感性、音、振動、乗り心地）と言う具合に対応技術として材料、構造が交互に現れている。

これらの歴史を振り返ると大きなブレークスルー、たとえばバイアスタイヤからラジアルタイヤへの変更、合成ゴム、合成繊維やスチールコードの登場などの画期的技術に日本はあまり寄与していない。しかしその後のタイヤ産業における日本の存在感は揺るぎないものがあり、結局のところ、それはものづくりを基盤とする詳細技術力を集積するという産業力の力が大きかったと言える。しかし今後の環境問題対策の深刻さは、更に大きな壁を突破すべきことを示している。

■ Abstract

The start of tire history is the use of wheels, made from a log or its x-section. In addition, these tires commonly used in cart or horse cart as the wheels. A pneumatic tire was originally invented by R.W. Thomson in the middle of 19th century. Then in the end of 19th century a pneumatic tire for automobiles was invented. The start of rubber history in Japanese rubber industries had started at that time, the latter half of 19th century. Then the tire industry originated from the rubber industry had been developed. The history of Japanese tire industries are divided into three stages as follows;

Stage 1 : the dawn of new age

This period in the Meiji era corresponds to the dawn of new Japanese rubber industry age with the elementary development in Japanese rubber industry. It is generally known that the foundation of Tsuchiya Rubber Industry in 1886 (19 Meiji era) is the start of Japanese rubber industry, approximately fifty years after the invention of vulcanization by C.Goodyear in 1839.

Stage 2 : growth age

This period from the beginning of the Taisho era to the end of world war II means the times that a rubber technology had been introduced from the foreign countries. Also domestic industry had been developed in the same period due to an introduction of new technology brought from the foreign countries. The domestic tire manufactures were also founded at the same period. Then domestically—developed tire technology showed the drastic growth during the World War II and played an important role as the military supplies.

Stage3 : maturity age

This stage means the age from the end of World War II to the present times. Although the tire manufactures were significantly damaged by the World War II, the tire manufactures rapidly recovered from those damages and then the tire technology drastically developed with the expansion of motorization. This period with developed motorization after the War is divided into three parts.

The primary period is the age that new materials such as Nylon and synthetic rubber were developed. And this period is often compared to the age of the processing technology that new raw materials were adopted for the tire.

The second period is the age that a tire construction was totally changed from bias tires to radial tires. With the significant development of the tire construction, not only the major change of the materials such as the use of steel cord but also the modification of the production equipment has been achieved.

In the third period each elemental technology was assembled, resulting in the further development of the steel radial tire. And the durability of the steel radial tire was completely developed in this period. In other word the third period is the age that the following properties, rubber/steel cord adhesion and fatigue of rubber during the duration of the radial tire had been accomplished.

After this period better motion performances of the tire were required. However, it was well known that the tires with lower rolling resistance had a problem with lower skid resistance. This is still major issue being trade-off each tire performance in the present day. In addition the improvement of ride quality such as the reduction of noise and vibration, was to be more important in the tire performances. Therefore, higher dimension of the balance in tire performances has been required from the 1980's to the present day.

After world war II, many epoch-making technologies have been developed in such as row materials and construction change. Then these changes alternatively took place in the tire technology developments. Considering the tire history, it is difficult to summarize that Japanese tire technologies has contributed to the new technologies as mentioned above. However, recently a presence of Japanese tire technologies has been more recognized in the tire industry, resulting from the consolidation of those technologies. In the next decade the countermeasure for environmental issue will be seriously required and therefore new technology should be developed in order to break through this major issue.

■ Profile

石川 泰弘 *Yasuhiro Ishikawa*

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 東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了
同 年 4月 横浜ゴム(株)入社 研究所勤務
平成 5年 10月 同社 タイヤ材料設計部長
平成 8年 7月 同社 材料配合研究室長
平成13年 7月 同社 理事
平成15年 7月 同社 技師長
平成17年 7月 同社 顧問
平成20年 1月 退任
平成13年度～14年度 日本ゴム協会副会長
現 在 日本ゴム協会 研究部会
成型加工技術研究分科会主査
工学博士

■ Contents

1. はじめに	3
2. タイヤの創生	6
3. 日本ゴム工業の黎明期（初期の配合技術の時代）...	12
4. 成長期—国産タイヤ工業の創生	19
5. 成熟期—モータリゼーション時代	28
6. ラジアルタイヤの成熟化時代	44
7. 性能付加を要求されるタイヤに関する各論的記述 ...	67
8. 技術の流れ総括	74
登録候補一覧	81

排気ガスタービン過給機の技術系統化調査

Historical Development of Exhaust Gas Turbocharger for Low Speed Marine Diesel Engine

今給黎 孝一郎 Koichiro Imakiire

■ 要旨

1897年にディーゼル機関が実用化されると、エンジニア達は往復動ポンプをはじめいろいろな方法で機関を過給し機関出力を増加することを試みた。1905年からは排気ガスエネルギーを有効利用する手法でアルフレッド・ビュッヒ（Alfred J. Büchi）が活躍した。彼は排気ガスタービン過給の創始者で、ディーゼル機関の排気ガスがまだ相当のエネルギーを持っていることに着目し、この排気ガスをタービンに導き圧縮機を回して過給すれば出力が増え、熱効率が上がることを主張した。一方、排気ガスをどのようにタービンに導くかが大きな課題であった。はじめは当時の蒸気タービンに倣い定圧（静圧）過給を試みたものの当時の過給機効率では難しく、最終的には排気ガス圧力の高い部分をうまく利用してタービンを回す動圧過給で成功を収めた。これが後の動圧過給の基本となった。従って、本調査では過給機調査に先立ち、排気ガスをどのようにして有効に使えるようにしたのか、その手法について調査した。ビュッヒの貢献により4サイクル過給機関は1925年に初めて実用化され、1930年台には相当普及したが、2サイクル機関は遅れていた。2サイクル機関で初のフルターボ運転は我国で昭和17年（1942）に成功し、排気管径の太さを請求範囲とした特許を申請し、昭和19年（1944）成立した。

1950年代になると大型船建造が進んだ経緯もあって、2サイクルディーゼル機関の過給実験が各社で相次いで成功し、以後1970年代半ばまで出力が大きく増加した。この機関出力向上の期間には過給機専門メーカーの他にエンジンメーカー各社も独自に過給機を開発し多種の過給機が実現したが、大半の過給機は水冷却型ガスケーシングの過給機であった（MANNAを除く）。当時、ディーゼル機関は燃料経済の為にすでに粗悪油を使用するようになっており、排気ガス中に含まれる亜硫酸成分が燃焼残渣と共にケーシングに付着し、露点に達した硫酸成分が結露して硫酸腐食を起こす問題が世界各地で多発していた。このような状況に鑑み、昭和40年（1965）ガスケーシングを水冷却しない完全無冷却の過給機が国内にて開発された。しかし、この過給機の本格的普及は次の省エネルギーの時代となった。

1978年（昭和53年）に第2次石油危機が発生すると原油価格が3倍に高騰し世界挙げて省エネルギーの時代となった。ディーゼル機関はそれまでの動圧過給方式が燃料消費率の優れた静圧過給方式に変わった。静圧過給機関は高い過給効率が必要でこの要求に応えるために過給機効率が飛躍的に向上する時代となった。過給機単体での最大効率は1970年代半ばには60%代であったが、1980年前半には65-68%に、更に1985年には70-73%に上がり、一方ディーゼル機関は同期間に約22%の大幅な燃料消費率低減を達成した。機関の燃料消費率改善は高効率過給機採用だけでなく、ロングストローク化、掃気効率改善、燃料噴射系などエンジン技術を駆使して達成したものであった。ところが燃料消費率の改善により排気ガスボイラ（排気ガス加熱器）のガス入口温度が低すぎて排気ガスボイラの設計が非常に苦しい事態が生じた。ここで初めて無冷却型過給機が注目されるようになった。

一方、1984年に過給機効率72%の高効率過給機が開発されると既に大幅低燃費を達成していた機関では向上した過給機効率を余剰効率とみなし、この余剰効率を排気ガスエネルギーから回収した。即ち、過給機前の排気ガスを抽出して小さなパワータービンを回して動力回収する省エネルギーシステムが考案された。このエネルギーを機械動力としてディーゼル機関に直接返す方法と、電力として船内システムに返す2つの方式が出てきたが、1990年代になって石油価格が下がり始めるとこのシステムはあまり注目されなくなった。半面経済の回復により機関出力が大きくなり過給機にとっては従来よりも高い回転数で稼動するようになり信頼性が問われる時代となった。

2000年代は環境問題がクローズアップし、1980年代半ばに萌芽のあった省エネルギーシステムが大きく再び取り上げられるようになった。前の時代に比べると機関出力が数倍になり省エネルギー機器による回復エネルギーも大きくなった。過給機はディーゼル機関とのマッチングをうまく成立させつつ、一方抽出した排気ガスで駆動するパワータービンのエンジリングを所掌する必要がある。過給機が受け持つ責任範囲が拡大してきた。ハイブリッド過給機の場合は過給機ロータ軸にパワータービンを内蔵したような機構であり、ディーゼル機関を過給しながら自らも仕事を取り出すといういわばガスタービンの機能を一部備えるようになった。

2011年には大気汚染防止のためのIMO（国際海事機関）排気ガス規制（TierII）が適用される。機関側は燃焼システム改善のため掃気圧の大幅上昇が必要であり、そのために各社は2007年頃から従来よりも大幅に圧力比増加を図った新型過給機を開発し実用化対応中である。

■ Abstract

Dr. Alfred J. Büchi is well known as a pioneer of turbocharging engines using exhaust gas. The first practical turbocharged engine was built in 1925 by Vulkan Werke in Hamburg. Its turbocharging system was based on the Büchi system of 4 stroke cycle engine. After improving the turbocharging system, many 4 cycle engines were manufactured as the turbocharged type. In Japan, the turbocharging test of 2 stroke cycle engine was performed successfully in 1942, and its exhaust gas manifold system was patented in 1944 by the Japanese government.

New building of the large vessels spread in Japan in the 1950's. To meet the requirement of larger power output of the engines, many turbocharging tests of 2 stroke cycle engine were carried out and successful, therefore, the power output (mean effective pressure) of engine increased remarkably till 1970's.

In this period (1960's), the turbocharger gas casings of the water cooled type suffered from sulfuric corrosion, because the engine had changed to use heavy fuel oil which contained sulfur component. In response to this problem, a turbocharger using a non water cooled gas casing was developed in Japan in 1965 and it proved robust against sulfuric corrosion.

The second oil crisis suddenly occurred in 1978, and then oil prices increased threefold than before. The engine was changed from pulse system to a constant pressure turbocharging system to reduce specific fuel oil consumption (SFOC). SFOC of constant pressure turbocharging system engine was lowered by approximately 22% compared to pulse system engine, around 1980-1985. This also lowered the exhaust gas temperature, which in turn affected the overall exhaust-gas boiler design whether the system was feasible or not. Non water cooled gas casing became advantageous for the boiler system above, because there was 15-20 deg. C difference in exhaust gas temperature after turbine between water cooled gas casings and non water cooled ones. The design of all turbocharger was changed to prevent the contact of exhaust gas on the cooled surface of casings. However, the main design concept of turbocharger remained unchanged.

The turbocharger maximum efficiency was improved remarkably from 65-66 % in around 1980 to 71-72 % in 1984. This occurred after the great SFOC reduction, and therefore a turbo-compound system was developed to recover the energy from exhaust gas equivalent to surplus turbocharger efficiency. However, it disappeared from the market in the 1990's due to lowered oil price than before.

In the 2000's, environmental factor came into focus, and the waste heat recovery system was rejuvenated to contribute to total energy saving system in the ship. Some system were newly developed such as Power turbine combined with Steam turbine for generator, Power turbine generation system (Stand alone type), Hybrid turbocharger system, and Turbo Hydraulic System etc.

High pressure ratio turbochargers are currently ready to be applied to TierII engines to comply with the IMO regulation from all turbocharger suppliers, which were already effective as of 2011.

■ Profile

今給黎 孝一郎 Koichiro Imakiire

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45年 3月 鹿児島大学工学部機械工学第二学科卒
昭和47年 3月 鹿児島大学大学院工学研究科卒
昭和47年 4月 三菱重工業株式会社 入社
昭和47年 5月 船用機械設計部へ転任
以後、排気ガスタービン過給機の開発、設計、生産業務、技術サービス等に従事
平成14年 3月 同社退職 エムエイチアイマリンエンジニアリング(株)に移籍
現 在 エムエイチアイマリンエンジニアリング(株) 船舶サービス技術部専門部長(過給機)
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. 過給機の基本	86
3. 過給機の誕生	89
4. 過給方法の確立と初期の過給機	92
5. 過給機の発達	98
6. 静圧過給機関の実現と過給機効率の向上	113
7. 信頼性と飛散防止	125
8. 転がり軸受と滑り軸受	128
9. 省エネルギーシステム	132
10. 可変ノズル過給機	137
11. 過給機構造の収斂	139
系統図	142
あとがき	143
謝辞	143
登録候補一覧	144
専門用語説明	145

洗濯機技術発展の系統化調査

Historical Development of Electric Washing Machine Technologies

大西 正幸 Masayuki Ohnishi

■ 要旨

日本の家庭用電気洗濯機の歴史は1930（昭和5）年、芝浦製作所（現東芝）がわが国初の攪拌式洗濯機の製作を開始したときがはじまりである。戦後は、進駐軍の家族向けの受注から立ち上がり、異業種を含め20社近くが参入した。

1953（昭和28）年、物品税が事実上撤廃されるなか、三洋が噴流式一槽式洗濯機を発売すると各社も続き、数年後には渦巻式一槽式洗濯機が主流となる。

1960（昭和35）年、三洋から二槽式洗濯機が発売され、遠心脱水の威力から需要が伸びた。ローラ絞りに比べ、はるかに早く乾く。1966（昭和41）年、三菱と東芝から自動二槽式洗濯機が発売され、洗濯行程の自動化が進んだ。

1980（昭和55）年、洗濯物の量が増える中で、脱水槽ですすぎと脱水を行なう同時進行型洗濯機が開発された。

1965（昭和40）年に渦巻式全自動洗濯機が開発され、つづいて液体バランス、マイコン、各種センサ、インバータ技術が進化し、洗濯性能が向上した。全自動洗濯機は、1980（昭和55）年ころから忙しい主婦の共感を得て伸びはじめ、1990年には販売数量でついに二槽式洗濯機を追い越した。

2000年（平成12）年に発売されたドラム式と、タテ型の洗濯乾燥機は、静音化と高性能が受けて普及がはじまった。共働きの主婦、あるいはマンションなど共同住宅では、近所に気兼ねのない夜の洗濯と乾燥が必要な時代になってきたのである。

本報告書では、わが国で攪拌式洗濯機の製作を始めて以来、これまでに開発されてきた各種の洗濯方式の経過を、洗濯機技術発展の系統化としてまとめた。

■ Abstract

In this report, we describe the evolution of the washing machine technology development in Japan.

The history of the domestic electric washing machine in Japan started in 1930 when Shibaura Engineering Works (now Toshiba) began producing the agitator-type washing machine.

Orders from occupation troops for their families started coming in, and about 20 companies, including companies from other industries, entered after the world war II.

Sanyo introduced the pulsator side-type washing machine to the domestic market when the Japanese commodity tax was abolished in 1953. Other companies followed, and the pulsator bottom-type machine became main stream several years later.

The twin-tub washing machine was put on the market by Sanyo in 1960 when the powers of centrifugal dehydration become known, and sales expanded.

The centrifugal dehydration allowed much quicker drying than a wringer.

In 1966, the automatic twin-tub washing machine was developed by Mitsubishi and Toshiba, and it has advanced the automations of laundry process.

By 1980, the amount of laundry done in household increased, and the automatic twin-tub washing machine was developed in response. It could simultaneously rinse and dehydrate and came with a dewatering bin.

A pulsator bottom-type automatic washing machine was developed in 1965 and later expanded to include a liquid balancer, microcomputer, various sensors, and inverter technologies.

The performance of the automatic washing machines that applies these new technologies significantly improved.

The automatic washing machine started becoming very popular with busy housewives around 1980, and it finally outsold the twin-tub washing machine.

It became famous as a quiet, efficient machine. In 2000, drum-type and the vertical-type machines were then put on the market, and both of them sold well gradually.

In the present day, many households are comprised of dual-income families dwelling in condominiums and apartment houses, and laundry must be done at night. It is important to have a quiet machine so as not to disturb any neighbors in the vicinity.

■ Profile

大西 正幸 Masayuki Ohnishi

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37年3月	姫路工業大学(現兵庫県立大学)機械工学科卒業
昭和37年4月	東京芝浦電気株式会社(現株式会社東芝)入社 家電機器事業部、ランドリー機器および調理機器その他の設計、開発に従事
平成元年4月	技術部長、商品企画部長、技師長、技監
～平成6年3月	日本電機工業会 電気洗濯機技術専門委員会委員長
平成6年3月	同社退職
平成6年4月	東芝ホームテクノ株式会社入社 常務取締役技師長
昭和12年3月	同社定年退職
平成12年4月	有限会社テクノライフ設立 代表取締役 現在に至る
平成14年4月	東京都立工業高等専門学校 設計工学 非常勤講師
平成16年3月	新潟大学大学院 自然科学研究科エネルギー基礎学科専攻 博士後期課程修了 博士(工学)
平成22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
会員	道具学会(家電研究会)
著書	「電気釜でおいしいご飯が炊けるまで」 技報堂出版2006年 「電気洗濯機100年の歴史」 技報堂出版2008年 「生活家電入門 発展の歴史としくみ」 技報堂出版2010年

■ Contents

1. はじめに	149
2. 電気洗濯機の誕生	151
3. 国産第一号洗濯機から戦後揺籃期	159
4. 一槽式洗濯機と遠心脱水機	165
5. 二槽式洗濯機と自動二槽式洗濯機	175
6. 全自動洗濯機と衣類乾燥機	187
7. ドラム式とタテ型洗濯乾燥機	209
8. まとめ 洗濯機技術の系統化	215
9. あとがき	221
付録	222

染料技術発展の系統化調査

Systematic Survey of Dye Technologies

瀧本 浩 Hiroshi Takimoto

■ 要旨

アルタミラ洞窟壁画は旧石器時代のもと言われているが、これを描いた人間は何の目的でこれを描いたのであろうか？ 狩猟の成功を祈ったのか、あるいは祝ったのか定かではないが、祈りや喜怒哀楽の思いを表現・記録することは人間の本能的欲求と思われる。ここで用いられた色材は天然の無機顔料であるが、動植物に由来する天然の有機色材が太古の昔から広範に利用されている。ローマ時代、皇帝だけが身に着けることを許された紫色の衣類は、地中海で採れた貝の分泌物（後世の研究によりジプロムインジゴであることが判明）によって染められたものだと言われているが、相当に貴重なものであったと考えられる。一方、エジプトのミイラを包んだ布は、インジゴやあかね（アリザリン）で染められているが、その目的は色ではなく防腐にあると考えられている。色とは別の機能も利用するケースはそのほかにも、藍の防虫性などがよく知られている。さらには、草木染に用いられている材料が漢方薬として医療にも使われていることも多い。医食同源と言う言葉がよく使われるが、医色同源ともいえそうである。

繊維（衣類、紙）用の染料に話を戻すと、その後、長い間、木綿、絹、羊毛などの天然繊維からなる繊維は天然染料によって染められてきたが、1856年、パーキンによって、最初の合成染料モーブが発明され、これをきっかけとしてヨーロッパの化学会社によって多くの合成染料が開発され、天然染料を駆逐していった。

1930年ころからは、合成繊維が誕生し、これを染めるための合成染料が開発されてきた。また、1980年ころから、プリンター（感圧、感熱、インクジェット、昇華転写、電子写真）、ディスプレイ（カラーフィルター、偏光膜、有機EL、G-H型液晶）、光記録媒体（CD-R、DVD-R）等などのエレクトロニクス分野で染料・顔料が利用されるようになり、私たちの生活は益々、便利快適なものになってきた。

また、染料は、ファインケミカルのルーツとして、農業や医薬の開発に寄与すると共に、そのシナジー効果により、染料もさらに発展してきた。日本の染料会社の多くは、製鉄用のコークス生産に伴う副産物の有効利用あるいは国策による染料の国産化から出発している。コークスは石炭を乾留して作るが、その際タールが副生する。このタール中のベンゼン、ナフタレン、アセナフテンあるいはアントラセンなどを利用して、アニリン、ナフトールあるいはアントラキノンなどの染料中間体を製造し、さらに染料を製造する。かつて、染料工業は化学工業の中のハイテク部門であった。

第一次世界大戦（1914～1918）以前は、ヨーロッパ特にドイツメーカーからの輸入品が日本市場を席巻していたが、戦争でドイツからの輸入が止まったため、比較的製造の容易な硫化染料を主に日本メーカーも生産に乗り出した。例えば、大正3年（1914年）、三井鉱山(株)（現三井化学(株)）は東京工業試験所の人材及び技術を活用してアリザリンレッドの製造を始め、大正5年、国策会社として日本染料製造(株)（現住友化学(株)）が設立され染料製造を開始した。

大戦後、輸入が再開されると、日本の染料会社は大打撃を受けたが、政府の保護（関税、補助金等）のもと、国内生産は順調に拡大していった。

その後、第二次世界大戦に入り、染料工業も軍需産業化し、戦災により多大な被害をこうむり、荒廃が著しかった。戦後は、朝鮮特需など一時的に好調な時期もあったが、全体としては不況が続く、カルテルなどによる生産調整なども行なったが、低迷が長く続いた。

技術的には、連合軍により押収されたドイツの研究資料がPBレポートとして公開され、日本の染料メーカーもこれを活用して技術レベルの向上を図ったが、特許切れ品の国産化あるいはマイナーチェンジに留まっていた。

1960年頃から、ポリエステル繊維用の分散染料を主体に、欧米の染料会社に追いつき、追い越すことを目標に技術開発を進め、1990年頃には、ほぼその目標を達成した。しかし、相前後して、インド、インドネシア、韓国あるいは中国の染料会社が、円高騰の影響もあり、日本の染料会社を脅かすようになってきた。日本の化学会社は、染料部門を分社化し、欧米メーカーと合併会社を作ったり、合併したりして対応したが状況は好転せず、今日では、繊維用染料の生産については、大部分をインドや中国などに移管した。

大量生産品目について言えば、特許権が失効し、性能的にも実用上問題のないレベルまで向上し、単なる価格競争に陥ってしまったのは、日本や欧米の染料会社に勝ち目はなかった。また、更に性能を上げて差別化するべくR&Dを行っても、そのコストを価格に反映できない状態にあり、現在のような状況も止むを得ないものと言える。

しかし日本の化学会社は、繊維用染料の開発で培った技術蓄積を利用して、1980年頃から、色素をキーマテリアルとするエレクトロニクス部材・商品の開発に、電気・精密機器メーカーと一体となって注力し、今日でも、この分野に於いて世界をリードしている。代表的なものとして以下のようなものが挙げられる。

* プリンター用材料

インクジェットプリンター及び昇華転写プリンター用色素

電子写真（いわゆるゼロックス）用有機感光体（OPC：Organic Photo Conductor）、

トナー用色素及び帯電制御剤

青焼き・感圧・感熱プリンター用色素（安定化ジアゾニウム塩、カップラー、ロイコ染料など）

* ディスプレイ用材料

カラーフィルター、偏光膜、プラズマディスプレイ用色素

ゲストホスト型液晶ディスプレイ、有機ELディスプレイ用色素

* 光記録媒体用材料

CD-R、DVD-R用色素

これらの分野では、欧米染料メーカーは完全に立ち遅れ、またアジアのメーカーも未だそこまでの技術レベルには至っていないようであるが、油断は禁物で更なる技術開発が求められる。

なお、これらの新しい分野において成功裏に商品開発を進めることが出来た背景として、繊維用染料の開発で培われた染料の合成技術（色目の微調整、耐久性の向上、不純物の除去・精製など）に加えて、極微細な表面分析技術、マイクロカプセル化技術、逆浸透膜（RO：Reverse Osmosis）による脱塩・精製・濃縮技術、微粒子の表面修飾技術、赤外線LED技術、錯体化学など多くの分野で進化した技術を利用することができたことが大きな要因として挙げられる。

今後の色素の応用展開としては、エコロジー関連、医療関連などが挙げられる。これまでの技術の蓄積を生かして、更なる発展を遂げることを期待する。

<参考文献>

要旨、1はじめに、2色素概説を含め、本調査報告書全般にわたって、細田 豊：『新染料化学』（株）技報堂出版（昭和38年発行）及び『合成染料技術の歴史』化成工業協会編（1997年11月発行）を参考とした。

■ Abstract

Scientists surmise that the paintings on the walls of the Altamira Cave date back to the Paleolithic period. For what purpose did early human beings paint them? Was it to pray for success in hunting? Or to celebrate their success? While we cannot be sure, we know that expressing and recording prayers and emotions are instinctive desires of human beings. The colors used in these cave paintings were natural inorganic pigments. However, natural organic colors derived from animals and plants had been widely used since ancient times. During the age of the Roman Empire, garments of Tyrian purple, worn only by the emperor, were dyed using secretions from mollusks collected from the Mediterranean Sea (later determined to be 6,6'-dibromoindigo). The dye was considered to be extremely precious. Cloth that wrapped Egyptian mummies was dyed in indigo, as well as in red from dyes derived from the madder plant (alizarin compound). Scientists believe that the purpose of dyeing in this instance was not just for color but also to preserve the mummies. It is also well-known that indigo, beside coloring and preserving, can be also used as a pesticide. Furthermore, many materials used in plant dyes are also used as herbal medicines. There is a saying that medicine and diet are equally important for one's health. We can say the same for medicine and color.

Returning to the topic of dyes used for fibers (cloth, paper), natural dyes were used for a long time to dye fibers made of natural materials, such as cotton, silk and wool. In 1856, the first synthetic dye, mauveine, was invented by William Henry Perkin, triggering the development of many other synthetic dyes by European chemical companies. This led to the near disuse of natural dyes.

Synthetic fibers were created from about 1930, and manufacturers created synthetic dyes to color these fibers. Since the 1980s, pigments and dyes have also come to be used in the electronics industry for products such as printers (pressure-sensitive, thermal, inkjet, sublimation transfer, electrophotographic printers), displays (color filters, polarizing films, organic light-emitting diodes, guest-host liquid crystal displays) and optical media (CD-R, DVD-R). They have made our lives more convenient and comfortable.

Dyes have also contributed to the development of agricultural chemicals and pharmaceuticals by serving as the root of fine chemicals. The synergy of these developments has in turn led to the further development of dyes.

Many of Japanese dye companies were established by making effective use of byproducts from the production of coke, used in manufacturing steel, and as a result of the national production of dyes as set forth by government policies.

Coke is made from the dry distillation of coal. During this process, tar is created as a byproduct. Using compounds found in tar, including benzene, naphthalene, acenaphthene and anthracene, dye intermediates such as aniline, naphthol and anthraquinone can be produced, leading to the creation of dyes. In the past, the dye industry was a technologically advanced sector of the chemical industry.

Before World War I (1914 ~ 18), imports from Europe, especially Germany, dominated the Japanese market. However, as imports from Germany ceased because of the war, Japanese manufacturers launched production, mainly of sulfur dyes, which were relatively easier to manufacture. For example, in Taisho 3 (1914), Mitsui Mining Company, Ltd. (currently Mitsui Chemicals, Inc.) began to manufacture alizarin red through the manpower and technological capabilities of its Tokyo industrial laboratory. In Taisho 5 (1916), Japan Dyestuff Manufacturing Company, Ltd. (currently Sumitomo Chemical Company, Ltd.) was established as a state-owned company and began producing dyes.

After the war ended, the import of dyes resumed. Japanese dye companies were hit hard, but thanks to government protection (tariffs, subsidies, etc.), domestic production expanded steadily.

As Japan entered World War II, the dye industry was taken over by the military. It was devastated by the damage from war. After the war, the industry enjoyed temporarily strong periods, for example during the Korean War. Overall, however, its slump continued. The industry reorganized through the formation of cartels, but its weak performance continued for a long time.

On the technological front, research materials seized from Germany by Allied forces were published as part of the "PB" series (named after the 1940s U.S. Publication Board). Using these materials, Japanese dye manufacturers attempted to raise their technological level, but were limited to domestically manufacturing products whose patents had expired and products with minor modifications.

From the 1960s, Japanese companies pursued American and European dye companies in the area of disperse dyes for polyester fibers. They proceeded with technological developments aimed at overtaking these rivals, and by the 1990s, they had almost achieved this goal. However, dye companies in India, Indonesia, South Korea and China unceasingly threatened Japanese dye companies, helped in part by the steeply appreciating yen. In response, Japanese chemical companies spun off their dye divisions, and dye companies formed joint ventures or merged with American or European manufacturers, without a change for the better. Today, control for the lead in the manufacture of fiber dyes has been ceded to India and China for the most part.

For mass production items whose patents have expired and whose performance has risen to a practical problem-free level, Japanese and Western dye companies have no chance of winning if they compete simply on price. Even if they conduct R&D to differentiate the performance of their products, they cannot help but reflect this cost to the products' price.

However, from the 1980s to this day, Japanese chemical companies, in partnership with electrical and precision equipment manufacturers, have become world leaders in the development of electronic parts and products that use pigments as key materials. They did this by utilizing their technological knowledge accumulated from the development of fiber dyes. Representative products are as follows.

- * Materials for printers
 - Colors for inkjet printers and sublimation transfer printers
 - Organic photoconductors (OPC) for electrophotographic systems (e.g. Xerox)
 - Pigments for toners and electrical static image development
 - Colors for blue-line, pressure-sensitive and thermal printers (stabilized diazonium salt, couplers, leuco dyes, etc.)
- * Materials for displays
 - Color filters, polarizing films, pigments for plasma displays
 - Guest-host LCDs, pigments for OLED displays
- * Materials for optical media
 - Pigments for CD-R, DVD-R

American and European manufacturers lag distinctly behind Japanese companies in these fields, and Asian manufacturers have not yet achieved such level of technological expertise. However, Japanese companies must continue to unflaggingly pursue technological developments.

In addition to the technologies for synthesizing dyes (minute adjustment of color, improving colorfastness, removing impurities/purifying dyes, etc.), which were cultivated as Japanese manufacturers developed dyes for fibers, technological advancements from the following areas also contributed greatly to the successful development of products in the new fields above: technologies for analyzing microscopic surfaces; microencapsulation technologies; desalination, purification and enrichment through reverse osmosis; surface modification technologies; infrared LED technologies; and coordination chemistry.

Future applications of colors include environmental-related and medical-related fields. Society has great expectations for the dye technologies accumulated so far by Japanese companies and for their further developments.

■ Profile

瀧本 浩 *Hiroshi Takimoto*

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43年 3月 京都大学工学部合成化学科卒業
昭和43年 4月 三菱化成工業(株)入社
黒崎工場、横浜総合研究所、三菱化成ヘキスト(株)にて色素の研究開発に従事
平成12年 3月 三菱化学(株)退職
桐蔭横浜大学にて、澱粉／尿素を利用した商品開発
(株)エスアール技研にて、産業廃棄物のリユース技術開発に従事
平成22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	229
2. 色素解説	231
3. 繊維・プラスチック用染料の開発	233
4. エレクトロニクス用色素の開発	252
5. 労働衛生・環境	272
6. 今後の色素応用解説	274
7. まとめ及び染料技術の系統図	277
用語解説	281