

農薬産業技術の系統化調査

Historical Development of Pesticides in Japan

1

大田 博樹 Hiroki Ota

■要旨

日本における農薬産業技術の歴史と発展を概観し、農薬が果たしてきた役割、社会におよぼした影響、さらには日本の農薬企業が発明し、開発した新農薬について調査した。

農薬のルーツは慶長5年(1600)に遡る。「家伝殺虫散」という文書が残されており、5種類の成分を混合したもので害虫を防除できるという。また、寛文10年(1670)には、鯨油を田に注ぐというウンカの防除法が見出された。これらが害虫防除の始まりである。江戸時代まではこのような原始的な防除方法しか存在せず、あとは「虫追い」という祈祷に頼っていた。

明治に入り、海外から石灰硫黄、ボルドー液などの銅剤、そして除虫菊、ニコチンなどの天然物が導入され、ようやく産業として発展が始まった。大正年代には、ひ素剤、クロルピクリンが工業化され、昭和年代初期に農薬産業の基礎が出来上がった。しかし、戦争の勃発によって、ここで技術の進歩が中断することとなる。

戦時のさなかでも欧米では新しい合成農薬の研究開発が進んでいた。技術開発に立ち遅れた日本は、DDT、BHC、パラチオンなどの合成農薬を導入し、短期間で国内生産を開始した。1950年代になると、農薬専門メーカーに加えて化学企業が得意とする合成農薬の製造を行うという産業が発展した。合成農薬の性能が優れていたことから、農業の生産性は大きく向上した。水稲作で見れば、明治時代には250kg/10a程度の収量だったのが1960年代には400kgを超えた。現在では500kgを超えている。

1960年代に入ると日本企業は自社で新農薬を開発する力をすでにつけていた。昭和34年(1959)に国産農薬第一号となる殺菌剤MASが市販され、その2年後には改良版のMAF、そして殺虫剤MEPが市販された。このほかにも殺虫剤のカルタップ、殺菌剤のプラストサイジンS、IBP、除草剤のベンチオカーブ、そして植物成長調整剤のジベレリンなどの大型薬剤が登場した。しかし、この時期にはパラチオンなど哺乳動物に対する毒性が強いもの、有機水銀剤のように残留性が強いもの、そしてPCPなど魚毒性が強いものによる危害が顕在化して社会問題となった。

1970年代になると、高度経済成長が終わりをつけ、安定成長の時代に入った。農薬産業はこの時代も成長を続けるが、内容は大きく変貌する。昭和47年(1971)には農薬取締法が改正され、「使用時の安全性の確保に加えて「国民の健康保護と生活環境の安全」の視点が加えられた。長期毒性試験と環境に及ぼす影響の評価が農薬登録に必須となり、農薬GLPの導入により試験方法が厳密となった。これによって過去に問題を起こした農薬が置き換わっていくこととなる。日本企業はこの時代も新規薬剤を出し続け、殺虫剤ではフェンバレレート、プロフェジン、ヘキシチアゾクスが、殺菌剤では、チオフアネートメチル、イソプロチオラン、プロベナゾールが、除草剤では、ピラゾレート、セトキシジム、フルアジホップブチルなどが登場した。この20年間の間に農薬産業にとっては大きなパラダイムシフトがあったが、年間出荷額で4,000億円規模を超える規模に成長した。

1990年代から現在に至るまでの動きを概観する。1991年に起こったバブルの崩壊を契機に日本経済は長期にわたり不景気の時代に入り、現在に至っている。農薬産業も大きな影響を受け、平成8年(1996)に4,400億円の出荷金額を記録した後に減少が続き現在に至っている。平成23年(2011)には3,500億円と2割の減少となっている。海外大手は研究開発費の増加と、成功確率の低下の対応としてM&Aを繰り返した。この傾向は日本でも少し遅れ2000年代になって日本企業の集約化が進んだ。しかし、この時代にあっても日本企業は新規薬剤を継続的に送り出し続け、現在に至っている。この時代の特徴は、「超高性能農薬の出現」である。代表的な例が、殺虫剤のイミダクロプリドの登場である。天然物のニコチンをモデルとした画期的な剤である。除草剤では、デュボンによって数~数十g/haという超低薬量で効果を発揮するスルホニルウレア系の除草剤が登場し、日本企業もこの関連化合物を多数発明した。

このように日本企業は多数の特徴ある新規薬剤を創出し続けてきた。本報告では、その経緯をまとめるとともに、なぜ比較的小規模な日本企業が成果を出し続けてきたか、その理由と展望についても述べる。

新鮮で、品質が良いという安心感をもって購買してくれる高所得の消費者が身近にいる限り日本の農業はなくなる。これを支える重要な資材が農薬である。今後も世界に誇る新規剤が日本企業の手によって登場することを期待したい。

なお、本調査では、合成農薬に焦点を絞ったので、近年注目されている生物農薬については調査の対象としていないことを付記する。

■ Abstract

This paper aims to provide an overview of the history and development of pesticides in Japan, following a study by the author on the role of pesticides, their impact on society and the establishment and development of the pesticide industry in Japan.

Pesticides in Japan can be traced back to 1600. A document from this era, entitled Family Traditions on the Killing of Insects, records that noxious insects can be exterminated using a mixture of five types of ingredients. Researchers have also discovered that in 1670, whale oil was poured onto fields as a method of exterminating leafhoppers. These examples indicate the beginning of pest control in Japan. Up until the mid-19th century, these primitive types of pest control were the only methods used in Japan; they were accompanied by *mushi-oi* – prayers to ward off insects.

An industry eventually started to develop in the late 19th century, when various products began to be introduced from overseas, such as lime sulphur, Bordeaux mixture and other copper agents as well as pyrethrum insect powder, nicotine and other natural products. Arsenic compounds and chlorpicrin became industrialised in the early 20th century; by the 1930s, a good foundation had been laid for the pesticide industry. However, the outbreak of war interrupted the progress of technology in Japan.

Research and development continued in the West on new synthetic pesticides, even in wartime. While Japan lagged behind in its technological developments, it was not long after the introduction of DDT, BHC, parathion and other synthetic pesticides that it started producing similar products domestically. By the 1950s, an industry had developed, with synthetic pesticides not only being produced by dedicated pesticide manufacturers, but also by specialised chemical companies. Agricultural production improved greatly as a result of the superior performance of these synthetic pesticides. In the late 19th century, paddy rice typically yielded around 250 kg per 10 ares; by the 1960s, this figure had increased to more than 400 kg. The current figure is more than 500 kg.

By the 1960s, Japanese companies were already competent enough to develop their own new pesticides. MAS, the first domestically-produced fungicide, hit the markets in 1959, followed by MAF, an improved version, two years later and then MEP, an insecticide. Other major pesticides also emerged, such as cartap, an insecticide, blasticidin, an antibiotic, IBP, benthio carb, a herbicide, and giberellin, a plant growth regulator. However, a number of social problems arose during this time, as parathion and other chemicals were highly toxic to mammals, organomercury compounds were highly residual and other chemicals such as PCP were highly toxic to fish.

By the 1970s, Japan's period of rapid economic growth had come to an end and the country was experiencing a time of stable growth. While the pesticide industry also continued to grow during this time, it underwent dramatic changes. The Agricultural Chemicals Regulation Act was amended in 1971, adding "protecting human health and conservation of living environment" as considerations to ensure "safety of use". Long-term toxicity testing and environmental impact evaluation became required practice for registering pesticides. Testing methods became stricter with the introduction of good laboratory practice (GLP) for pesticides. These changes meant that the socially-problematic pesticides of the past were phased out and replaced. Japanese companies continued to develop new chemicals, resulting in the emergence of insecticides fenvalerate, buprofezin and hexythiazox, fungicides thiofanate-methyl, isoprothiolane and probenazole, and herbicides pyrazolate, sethoxydim and fluzifop-butyl. While the next two decades saw a major paradigm shift in the pesticide industry, it grew to the point where it was turning over more than ¥400 billion in a year.

The following is an overview of events from the 1990s to the present day. With the bubble bursting in 1991, the Japanese economy went into a long recession, which continues to this day. This also had a major impact on the pesticide industry, which has had a steady decrease in sales since turning over ¥440 billion in 1996. By 2011, this figure had dropped by around 20% to ¥350 billion. Major overseas players repeatedly ended up in mergers and acquisitions due to the rising cost of research and development and the decreasing success rate. Japan lagged a little behind in

this trend as well, but by the early 21st century, Japanese companies were consolidating as well. However, even during this time and since, Japanese companies have continued to work on new chemicals. One of the key points of note of this time has been the emergence of ultra-high-performance pesticides. One typical example is the insecticide imidacloprid, a ground-breaking chemical modelled on nicotine, a natural product. Japanese companies also invented a number of compounds similar to the sulfonylurea herbicide produced by Du Pont, which is effective with an ultra-low dosage of several grams to several tens of grams per hectare.

Japanese companies have thus continued to create new chemicals with a number of advantages. This report discusses the relevant course of events, the reasons why relatively small-scale Japanese companies have achieved such results, and the future of the industry.

Japanese agriculture will never fail while it is surrounded by high-income consumers who make their purchases assured of freshness and high quality. Pesticides are a huge part of this. The hope is that Japanese companies will continue to produce new, world-class chemicals.

This study focuses on synthetic pesticides rather than biopesticides, which have been the subject of recent attention.

■ Profile

大田 博樹 *Hiroki Ota*

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 東京大学農学部農芸化学科卒業（有機化学）
 昭和 46 年 東京大学農学系大学院修士課程修了（有機化学）
 同年 三菱化成工業株式会社入社 商品研究所
 昭和 55 年 東京大学農学博士
 同年 カリフォルニア大学リバーサイド校化学科 客員
 研究員
 昭和 57 年 三菱化成株式会社 横浜総合研究所 農化研究所
 平成元年 本社農薬飼料事業部
 平成 8 年 三菱化学株式会社 農化研究所長
 平成 11 年 本社技術開発室
 平成 13 年 理事 科学技術戦略室 部長
 平成 15 年 シーエーシーズ株式会社 取締役社長
 平成 16 年 株式会社三菱化学科学技術研究センター 取締役
 副社長
 平成 19 年 三菱化学メディエンス株式会社 顧問
 平成 21 年 顧問退任
 平成 24 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	4
2 農薬概説	6
2.1 農薬の定義	6
2.2 農薬の名称	7
2.3 農薬の分類	7
2.4 農薬産業の状況と農業の生産性向上	11
2.5 農薬の法規制	14
2.6 農薬の開発プロセスと要素技術	15
3 農薬の歴史	20
3.1 農業の始まりと祈禱（前近世、縄文時代～江戸時代以前）	20
3.2 農業のルーツと虫追い（近世、江戸時代）	20
3.3 近代農薬の登場（明治～戦前期）－長寿農薬の出現－	23
3.4 戦中戦後の混乱・復興から現代合成農薬の進展	34
4 日本発の新農薬	69
5 考察と展望	100
5.1 社会認識－安全と安心－	100
5.2 農業環境－進まない構造改革、しかし今後は－	101
5.3 日本の農薬産業－現状と今後－	101
6 あとがきと謝辞	105
農薬の技術系統図	107
登録候補一覧	110

■要旨

ビデオカメラは、動画像を撮影・記録し、保存しておくことができる家庭用のカメラである。ここでは家庭用のビデオカメラを扱う。

ビデオカメラは日本で開発製品化され、世界中の人々に広く使われてきた。ここで培われた技術はその後、静止画像を撮影するデジタルカメラ、コミュニケーションの携帯電話へと引き継がれ、更に、スマートフォンやタブレット端末にも適用されている。

ビデオカメラはコンパクトにまとめられているが、数多くの基本技術が結集されたシステムである。

レンズを含む光学系、光電変換の Key Device であるイメージセンサ、高画質・高機能の画像を再現するデジタル信号処理、画像を記録する録画システム、コンパクトにまとめる高密度実装、など技術範囲は多岐に及ぶ。更に、ビデオカメラに必須である小型・軽量・堅牢・低消費電力と民生用の基本である低コスト・高信頼性が要求される。

イメージセンサは、折から急速に進められた半導体技術に支えられ、数々の特徴ある研究成果が盛り込まれて、日本の得意とする産業に発展した。綺麗な画像が欲しいという多くの日本人のこだわりが、テレビ・カメラの高画質化技術開発に拍車をかけることになり、センサ技術者とカメラ技術者の連携により、世界トップの高画質化ビデオカメラを生み出す技術の発展につながったといえよう。

ノイズを大幅に低減する埋め込みフォトダイオード、スマアを解決した FIT - CCD、光の利用を大幅に改善した内蔵マイクロレンズ、にじみを改善した VOD、インターレースを可能にした加算読み出し、残留電荷を除去する掃出し駆動、インターレースに適し、感度向上を実現した色差線順次方式、などの輝かしい国内技術が多数開発された結果、世界に冠たるビデオカメラが完成していった。

ビデオカメラとしては世界初の製品が次々と日本から出現する。1974年ビデオカメラのルーツと言われる家庭用単管式ビデオカメラ IK-12 が東芝から製品化された。その後、撮像管を用いたビデオカメラが各種開発、製品化されていくが、1980年には撮像管に代って固体イメージセンサを用いた世界初の単板式ビデオカメラ VK-C1000 が MOS 型イメージセンサを用いて日立製作所から製品化された。1982年 CCD を用いたビデオカメラ TC-100 が NEC から製品化され、各社の製品化競争が激しくなる。1983年になると録画可能な β 方式 VTR を内蔵した一体型カメラ BMC-100 がソニーから製品化された。1985年にはカメラ内蔵を目的とした小型 VTR が開発され、VHS-C 方式ビデオカメラ GR-C1 が日本ビクターから、8ミリ方式ビデオカメラ CCD-V8 がソニーから製品化された。1989年にはパスポートサイズと称した小型ビデオカメラ CCD-TR55 がソニーから製品化され、本格的普及が始まった。その後、42万画素を用いた高画質ビデオカメラ AI-XS1 が東芝から製品化され、多画素化競争が終わりを告げた。使い勝手を改良した高機能型が次々と製品化されて行った。

ビデオカメラ技術の波及効果として、1970年カラーテレビ電話、1983年電子内視鏡（世界初は米国であるが、現在は実質的に日本製が7割を占める）、1981年親指カメラ、1989年立体ビデオカメラなど多数の世界初製品が日本で生まれ、監視用、産業用、医療用など広く活用されている。

日本の技術開発が世界のトップに躍進できた理由は厳しい競争の中にあって、技術者各自の意欲と連携によるところが大きい。CCDの初期の段階では主流であった高性能撮像管に対して性能が未達で、担当技術者は社内でも逆境にあった。その中で、将来必ず成功させるという青春の夢と意欲を持っていた。共通の強い目的意識、学会レベルで他社に悩みを打ち明け、それに快くアドバイスする指導者がいた。イメージセンサとビデオカメラ、双方の技術者で、課題提案→課題解決という見事な連鎖が築かれ、よい人材が集まり、優秀な技術者に育って行った。やがて、特許提案、IEEEなど世界の学会で技術成果を次々に発表することにより、日本の技術の優位性が世界中から認知されて行った。

この分野の研究開発は2000年代に山を越したかに見えたが、デジタル技術とソフト技術の進歩により、新しい方向に転機を迎えている。撮像された画像から数学的手法を駆使して解像度を向上する超解像技術、ライトフィールドを捕えて、変換処理によって画像を再生するコンピュタイメージングなどが新たに、学会の注目を集めている。環境の変化に対応して、日本の技術が再度、花を開かせる土壌が生まれつつある。新しい手法を駆使して高画質の画像を作り上げるのは日本の技術者が最も得意とするところである。

カメラ技術は限りなき前進を期待され、日本の技術開発が新しいカメラ応用製品として結実することを祈念している。

■ Abstract

The video camera is a color television camera for consumer use that makes it possible for anyone to take a moving picture. This paper surveys developments in video camera technology.

Video cameras have been developed and manufactured in Japan for several decades, and exported to global markets. Many kinds of video camera technology have been developed in Japan and applied to digital cameras, cellular phones, tablet PCs and more.

Although compact in size, the video camera is a large system including myriad basic technologies such as optical systems, imaging sensors, digital signal processing circuits and high density assemblies. Moreover, it must be small, light-weight, and durable, with low power consumption, low pricing and high reliability.

The image sensor industry in particular has evolved into one of Japan's most successful industries, supported by advanced semiconductor production technologies. The Japanese consumer expects high fidelity color picture quality, which has driven the development of various new video camera technologies, developments that have stemmed from collaboration between sensor technology and camera technology engineers.

Many successful image sensor technologies have been invented by Japanese engineers, such as pinned photodiodes that significantly reduce noise levels, FIT-CCD image sensors that resolve the problem of image smear, on-chip micro lenses that enable significantly better light utilization efficiency, VOD technology to rectify issues of image blooming, interlaced scanning read-out, residual charge sweep-out drive technology, line-sequential chrominance difference systems for increasing photographic sensitivity suitable for interlaced scanning, and pixel shift correction to deliver enhanced resolution.

The world's first video camera for consumer use, the IK-12, was developed in 1974 by Toshiba using an image pickup tube with color stripe filters. Various video cameras using a single tube were subsequently manufactured in Japan. Then the world's first solid-state single-chip video camera, the VK-C1000, was developed in 1980 by Hitachi using an MOS image sensor. In 1982, the world's first CCD video camera, the TC-100, was developed by NEC using a single-chip CCD. Then in 1983, the BMC-100 video camera was developed by Sony, using β max VCR. Later in 1985, two types of small VCR system suitable for video cameras, the VHS-C and 8mm, were developed. A VHS-C video camera, the GR-C1, was developed by the Japan Victor Company (JVC), and an 8mm video camera, the CCD-V8, by Sony. The video camera industry had truly begun to take hold of the market by 1989 when the compact "passport-sized" CCD-TR55 was released by Sony. Toshiba later went on to unveil its AI-XS1 high-resolution 420,000-pixel video camera, thereby bringing pixel-number competition to an end. Sophisticated and increasingly user-friendly video cameras then began hitting the market.

Developments in video camera technology came to be widely used in surveillance, industry, medicine and other fields, producing ripple effects whereby Japanese manufacturers began unveiling a slew of products that would represent world firsts such as the color TV telephone in 1970, a thumb-sized camera in 1981 and a stereoscopic video camera in 1989.

That Japanese video camera technologies came to dominate world markets was largely attributable to cooperation among the nation's engineers, who exhibited a strong desire to develop new technologies in the midst of a fiercely competitive environment. In the early stages of CCD development, the technology fell short compared to the then mainstream high-end image pickup tubes, a situation that vexed engineers specializing in the technology, not to mention the companies they worked for. A strong sense that they shared a common objective led engineers from competing companies to raise concerns at academic conferences, which in turn prompted sound advice from willing mentors. Eventually, patent filings and successive presentations of technological achievements at gatherings of professional associations such as the IEEE and worldwide academic conferences resulted in Japan gaining global recognition for its unparalleled technological excellence.

From here on in, expectations are still high regarding the boundless possibilities for advances in camera technology. The world is watching for new technological innovations from Japan that will further the development of the video camera.

Contents

要 旨	111	6.5 VTR 一体型ビデオカメラ	160
1 まえがき	114	6.6 多画素化	161
1.1 撮像の技術	115	6.7 ビデオカメラの実際	161
1.2 ビデオカメラの技術	116	6.8 ビデオカメラの変遷	167
2. 光学系	119	6.9 ビデオカメラ技術の応用	167
2.1 撮像レンズ	119	7. ビデオカメラ用録画機器	171
2.2 ダイクロイックプリズム	120	7.1 概要	171
2.3 CFA	120	7.2 VTR	171
2.4 光学 LPF	120	7.3 デジタル記録メディア	171
2.5 マイクロレンズ	121	7.4 デジタル記録メディアを用いた ビデオカメラ	172
2.6 その他の光学系	121	8. 高機能化技術	173
3. 撮像デバイス	124	8.1 概要	173
3.1 撮像デバイスの歩み	124	8.2 AE	173
3.2 撮像管	126	8.3 AF	173
3.3 CCD	127	8.4 AWB	175
3.4 CMOS イメージセンサ	130	8.5 手振れ補正	176
3.5 CMOS センサと CCD	131	8.6 顔検出・認識	177
3.6 撮像デバイスの重要技術	133	9. 高画質化技術	182
4. カラー撮像方式—その 1—	144	9.1 コントラスト補正	182
4.1 概要	144	9.2 ダイナミックレンジ拡大	183
4.2 単管式	144	9.3 デモザイキング	184
4.3 2 管式	149	9.4 超解像技術	187
5. カラー撮像方式—その 2—	152	10. ビデオカメラ技術の系統化	195
5.1 Bayer 方式	152	10.1 ビデオカメラ技術の全貌	195
5.2 色差線順次方式	153	10.2 ビデオカメラ技術の展開	195
5.3 その他の方式	153	10.3 ビデオカメラ技術の進展	196
6. ビデオカメラ	157	10.4 学会の役割と貢献	197
6.1 概要	157	10.5 ビデオカメラ技術の展望	203
6.2 ビデオカメラの生産高	157	11. むすび	205
6.3 単管式カラーカメラ	158	略語集	206
6.4 単板式カラーカメラ	159		

■ Profile

竹村 裕夫 *Yasuo Takemura*

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

1962 年 3 月 早稲田大学第一理工学部電気通信学科卒業
同 年 4 月 東京芝浦電気株式会社 (現 株式会社東芝) 入社
中央研究所 配属
カラーテレビジョン撮像方式、ビデオカメラな
ど撮像機器の研究開発に従事
1994 年 9 月 同社退職 10 月東芝 AVE ㈱ 入社

2002 年 3 月 株式会社オクト映像研究所 設立
車載用カメラ開発業務
この間、電気通信大学大学院、東京工芸大学大
学院 非常勤講師
IEEE Fellow 映像情報メディア学会フェロー