

# 産業用ロボット技術発展の系統化調査

A History of Japanese Industrial Robotics

1

楠田 喜宏 Yoshihiro Kusuda

## ■ 要旨

今回の「ロボット」の発展過程の系統化調査では「産業用ロボット」（工場の中で使用されている製造業用ロボット）に限定して調査、分析を行っている。産業用ロボットは米国で誕生したが、本格的な発達には日本で達成された。本報告は

- 日本が世界一のロボット大国として発展してきた要因を分析している。
- その発展の足跡を明らかにする中で歴史的意義のある資料の保存に資するため所在を特定している。

また、この発展の系統化分析を通じて

- 今後の日本のロボット産業・技術の方向のための提言を行っている。

まず、日本の産業用ロボットの発展を可能にした根底には、日本独自の文化、社会、経済環境の存在があったことを述べている。

産業・技術の系統化に当たっては、単純なハードウェア論理のエレクトロニクス、原始的な機械構造に規制され殆ど応用分野を見出せなかった初期の産業用ロボットが、マイクロプロセッサの導入、電気サーボ技術の発展により高度の機能を獲得し、幅広い動作自由度を実現していった結果、広範な応用範囲を見出して現在に至った過程を分析している。ここで確立されたロボット工学という新技術分野によって人間と機械が共生する新しい社会を実現する基盤が作り上げられていることを述べている。

その過程に於いて決定的な影響をあたえたものにマイクロエレクトロニクス革命があるとし、今後の発展のためにはその本質を再認識すべきことを強調している。

## ■ Abstract

This paper reports how Japanese industrial robots (specifically robots used in manufacturing environment) were born and grown up.

Indeed the concept of industrial robots was created in U.S., but the evolution into industrial products in the real world was accomplished in Japan. The author attributes Japanese success to smooth acceptance of the concept of robots by Japanese society which stems from cultural, mental and social heritage of the nation.

It keeps track of the history of Japanese industrial robots, describing how a primitive “programmable article transfer” device has transformed into a highly sophisticated automaton by introducing new technologies like microelectronics, servo-drives, motion controls, modern control theory, sensor technology, human-machine interface, information technology and others.

It emphasizes that the advent of microelectronics is above all the key issue of the process.

It provides a list of milestone products in the history identifying where and how the legacy achievements are preserved now.

Finally it offers a suggestion for the future direction of Japanese robotics.

## ■ Profile

**楠田 喜宏** *Yoshihiro Kusuda*

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31年3月 東京大学工学部電気工学科卒業  
昭和31年3月 (株)安川電機製作所(現(株)安川電機)入社。  
以後、産業オートメーション、メカトロニクス、ロボット工学分野の研究、開発、販売に従事。同社、メカトロ技術部長、取締役ロボット事業本部長、同技術本部長、(株)安川商事代表取締役社長を歴任  
平成4年5月 1992年度JIRA賞(International Symposium on Industrial Robot 最優秀論文賞)受賞  
平成9年3月 同社顧問退任  
平成9年3月 国際コンサルタント事務所「楠田インターナショナル」代表に就任  
現在 同事務所代表、雑誌“Industrial Robot”(英国) Japan Associate Editorなどロボット工学、メカトロニクス、産業オートメーション分野のコンサルタント活動に従事している。

著書 「産業用ロボット導入実践ガイド」 日刊工業新聞社 1999  
「自動化システム心得ノート」 日刊工業新聞社 1988  
「マイコン再入門」 日刊工業新聞社 1979 ほか

## ■ Contents

1.はじめに .....	3
2.産業用ロボットの生い立ち .....	4
3.産業用ロボットの現状 .....	8
4.日本のロボット産業・技術の発展過程 .....	16
5.産業用ロボットの発展の系統化考察 .....	32
6.産業用ロボットと明日の日本経済 .....	40
7.後書き .....	45
登録候補一覧 .....	46

## ■ 要旨

わが国の変圧器技術の発展過程を三つの時代に分類した。

「模倣から技術国産化まで」では変圧器の製作を開始した1893年から終戦までの期間を扱っている。当初は海外の模倣や導入技術をベースにスタートしたわが国の技術も1920年代までにはこれら技術を消化してほぼ独り立ちできるまでに成長し、1930年代には一流国の技術をキャッチアップするまでになった。

次の「海外技術からの脱却」では戦後から1970年代の中頃までを扱っている。戦後の復興期における海外との技術提携の復活と海外の新技术の積極的導入、その後の経済の急拡大による電力需要の伸びから海外とほぼ同一ペースで大容量化を達成したことを述べ、さらに高電圧化では500kV変圧器の実現に触れている。この大容量化で問題となる漏れ磁束に対する解決方法については、海外とほぼ同時期の開発のため海外技術を当てにできず独自に解決せざるを得なかった。また、高電圧化では新たに導入された部分放電試験への対応策に苦勞し、その解決に10年を要した。この解決は作業者の品質に対する問題意識の改革が決め手となったもので諸外国に先駆けて問題解決を達成した。

「独自技術による発展」では1970年代後半から現在にいたるまでを扱っている。1972年に運転を開始した500kV変圧器で冷却のために循環する絶縁油と絶縁物との摩擦静電気が発端で絶縁破壊事故に発展した流動帯電事故について触れ、その解決の過程で得た教訓がその後のわが国の独自技術による開発に大きく役立ったことを示した。具体的事例として諸外国に比べて厳しい貨車輸送限界内で達成したUHV変圧器の開発とUHV絶縁技術や世界に先駆けて開発に成功した大容量ガス絶縁変圧器の実用化が挙げられる。これらは基礎に立ち返った開発と地道な検証とによって達成されたものである。また、厳しい輸送条件と製品への高い信頼性の要求から生まれた新しい分解輸送形変圧器は従来の分割形に比べコスト面、特性面でも優れ適用拡大が期待されるものとなった。

## ■ Abstract

The first transformer products manufactured in Japan were made in 1893. In this paper, the processes of developing power transformers in Japan are divided into three periods.

### 1. From imitation to domestication of power transformer technologies: 1893-1945

Japanese power transformer technologies started by imitating foreign ones, and then were further developed on the basis of technical collaboration with foreign manufacturers in its early stage. By the 1920s the industry had assimilated those technologies and was able to stand on its own technologies. In the 1930s Japan caught up with the technologies of top-level countries.

### 2. Outgrowing imported technologies: 1945-1975

In the period of reconstruction after the world war, Japan revived technical collaboration on power transformer technology with foreign countries and aggressively introduced newly developed techniques acquired from these top-level countries. The Japanese economy and the demand for electric power expanded rapidly in 1960s, so an increased MVA level of transformers was achieved at almost the same time as foreign countries. In this period, 500kV transformers also were developed. Leakage flux problems are serious problems for large power transformers. Japan's makers had to solve these problems for themselves without any technical support from foreign countries because they developed large transformers at almost the same time as other countries. Additionally, they encountered problems with extra-high voltage. Japan's makers had a hard time developing a partial discharge test; this test was newly required for development of the 500kV transformer. Ten years were required to solve this problem. However, overcoming these problems lead to a change in foreign countries' attitude regarding the quality of Japanese workers.

### 3. Growth of domestic technologies: 1975-now

Insulation breakdown problems in 500kV transformers are caused by static electricity between insulating oil, circulated for cooling the core and coils of transformers, and their solid insulation. Lessons Japanese manufacturers learned in solving these problems produced good results that aided them in developing original transformer technologies. For example, development of the UHV transformer and its insulation technologies overcame Japan's severe limitation in railway-transport as compared with that of European countries or the USA. Another example is development ahead of the rest of the world of the practical use of large capacity gas-insulated transformers. Development of these technologies was achieved from basic research and steady testing.

## ■ Profile

### 矢成 敏行 *Toshiyuki Yanari*

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	東京大学工学部電気工学科卒業
昭和37年4月	東京芝浦電気株式会社〔現在の(株)東芝〕入社 以後40年間電力用変圧器の設計、開発に従事
昭和60年10月	UHV変圧器の長期絶縁信頼性に関する研究にて 東京大学より学位受領
平成2年4月	技監
平成13年8月	(株)東芝 定年退職
平成15年4月	国立科学博物館 主任調査員 工学博士

## ■ Contents

1.はじめに .....	51
2.わが国の変圧器技術発展の概要 .....	52
3.模倣から技術国産化まで (戦前における変圧器技術) .....	56
4.海外技術からの脱却 (戦後の復興から500kV変圧器製品化) .....	63
5.独自技術による発展 (流動帯電の克服と新技術への挑戦) .....	73
6.技術の系統化 .....	85
7.変圧器保存状況 .....	104

## ■ 要旨

戦後、わが国造船業は戦前の艦船建造から、商船を中心にした建造体制に早期に転換すべく、産官学による溶接鋼製大型船建造技術の確立を強力に推進した。戦後15年間で溶接技術・機器の開発、ブロック建造法の基盤が出来、欧米の技術レベルに並び、建造量世界一を達成した。1965年以降は世界的な高度経済成長により、海上輸送量が急激に増大し新造船需要も比例して拡大した。特に石油消費量の増大は、著しいタンカーの船腹量拡大要求が高まり、その要求は隻数のみならず、経済性の高い船型大型化への要求も急激に高まった。この要求を満たすに必要な技術の開発、建造設備の新設を着実に進め、世界の新造船建造量の約50%を20年近く維持してきた。しかし、1973、79年の2度に亘る石油危機の発生により、石油の消費動向は一転し省エネルギー化へと転換、タンカーの新造需要は減少し、同時に船型の大型化は止まり30万トン級が限度となり、燃料消費量の低減が大きく求められる様になった。更に、運航中に起こる座礁・衝突などの事故により、大量の油流出による海洋汚染が起り、防止策として国際海事機構（IMO）により船体の二重殻化が制定された。この社会情勢に対応する技術とその発展状況を調査し、その中から後世に残すべき候補資料の選定を行った。

## ■ Abstract

After World War (since 1945), Japan Shipbuilding Industry strongly desired to turn to merchant vessel, the industry, government and professor jointly promoted to investigate and develop welding technique including welding machine for joint welding of large steel fabricated vessel. Around 15 years World War (around 1960), Japanese shipbuilding technology etc. reached same technological level of western shipbuilding. World economy expanded rapidly and remarkably after 1965 and the large oil tanker increased to support expand oil trade. The new demand oil tanker is not number of vessel but larger, Japan Shipbuilding Industry has widely developed building technique and newly constructed large building dock. The share of new tonnage was almost half amount of world new tonnage during 20 years. The tanker market business has changed to less fuel and up to 300,000 dead weight due to oil crisis (1973, 1979). Several oil flow accidents, the International Maritime Organization (IMO) has double hull structure for oil tanker.

Newly developed technology to build ultra size crude oil carriers are in this paper. In addition work of technical those tankers have been to clarify the technological process and to nominate permanent storage.

## ■ Profile

**吉識 恒夫** *Tsuneo Yoshiki*

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33年3月 横浜国立大学工学部造船工学科卒業  
昭和33年4月 三井造船株式会社入社  
昭和61年4月 船舶・海洋プロジェクト事業本部企画開発部長  
平成3年4月 船舶・鉄構総括本部技術開発部長  
兼技術総括本部昭島研究所長  
平成3年7月 理事  
平成6年7月 技監  
平成10年7月 顧問  
平成15年4月 独立行政法人 国立科学博物館 主任調査員  
平成15年6月 三井造船株式会社 退社

## ■ Contents

1.はじめに.....	135
2.造船技術の概要.....	136
3.戦後の大型タンカー建造技術史概要.....	139
4.年代毎の技術と建造船.....	149
5.登録資料候補の選定.....	165
6.まとめ.....	168
謝辞.....	169
専門用語の説明.....	170
参考文献一覧表.....	171

# テレビ技術史概要と関連資料調査

4

The History of the Developmental Process of Television Technology in Japan and the Preservation of Examples

吉野 章夫 Akio Yoshino

## ■ 要旨

テレビ技術の分野の中でテレビ受像機について時代を3つに分けてその開発過程を辿った。

日本のテレビ開発は1923年にスタートし、戦前の開発期に全電子式のテレビ研究を世界に先がけて行い、受像管及びその周辺回路、ビデオ信号伝達回路等、今日のテレビの基礎的技術を創造した。

「幻の東京オリンピック」に向けて、当時としては世界の第一級のレベルで、441本方式のテレビシステムを完成させた。

約10年の開発空白期を経て、戦前に培った技術と米国からの技術導入により、1953年我国で初めて標準放送を開始し、その7年後の1960年にカラー放送もスタートさせた。

放送開始前後からテレビ受像機の商品化が開始された。当初のカラー受像機の課題は絵が暗いことで、受像管の輝度向上を目指して開発が進められ、蛍光体の開発、ブラックマトリックス管の開発により十分な明るさになった。

1960年代から1970年代にかけて、トランジスタ化に続くIC化に積極的に取り組む事となる。この半導体化に対する積極的な取り組みにより、日本のテレビ受像機、テレビ産業は性能面、コスト面、生産性、信頼性の総合力で米国を追い越し世界第1位の地位を築く事となる。またこれにより高嶺の花であったテレビを、1家に1台の手の届く商品にした。

1980年代を境にテレビを取巻く環境が変化し、テレビ受像機は「システム化」、「高画質化」、「大画面化」が進展した。またそれまでの20年ほとんど変化のなかった放送方式も音声多重放送、文字多重放送、衛星放送が放送を開始し、さらに高品位化を狙いEDTV、ハイビジョンの新方式を日本の技術で開発し、16：9の新しい映像の世界を拓いた。

高品位テレビは1984年に伝送方式としてMUSEが開発され、1990年代になるとハイビジョン対応の受像機が各社から商品化された。

1990年代後半になり放送のデジタル化が進展し、1996年に日本で最初のデジタル放送が通信衛星を用いて開始された。BSデジタル放送が2000年に本放送を開始し、2003年には地上デジタル放送開始に先立ちBS/CS/地上デジタル共用受信機が発売された。

## ■ Abstract

This report traces the history of the developmental process of television technology in Japan, especially the television receiver. This period is considered by dividing it into three parts.

The development of television was started in Japan in 1923. At the time, the main components of television were mechanical, however, a group headed by Takayanagi began research on a fully electronic device prior to other researchers in the world. By the time of the Tokyo Olympic Games, that were to be held in 1940, but which were cancelled because of the war in Europe, Japan's television technology had reached the highest-level in the world, and a television system with 441 scanning lines had been achieved. During this period, the cathode-ray-tube (CRT) and its peripheral circuits and the video signal transfer circuit were created, these are the fundamental technology of today's television.

In the ten-year period of around the end of WWII, Japanese engineers could not continue television research because stringent restrictions and prohibition by the U.S. Army. After this ten-year period with no development, they began television research again, and almost simultaneously, standard television broadcasts were begun for the first time in our country in 1953. This was made possible by the technological know-how cultivated during prewar days and the introduction of technological know-how from the U.S. Color broadcasts were also started in 1960, seven years later.

Commercial sales of television receivers began at the same time that broadcasts started. The early color television receiver's picture was too dark, and further development was aimed at improving the CRT's luminosity. Sufficient brightness was achieved by developing a fluorescent substance and a black matrix that were applied in the CRT.

During the period from the 1960s to the 1970s, transistors and ICs were developed, and the television industry of Japan struggled to replace vacuum tubes with these smaller elements. This required much effort, time, and money. Owing to this effort, the industry achieved superior product performance and reliability, lower cost, and higher productivity, and surpassed the U. S. television industry. As a result, they achieved the status of number one in the world.

The television environment changed bordering on the 1980s, progress was achieved in sophistication, higher-definition, and bigger screens for the television receiver. Moreover, regarding broadcasting format, this period saw the beginning of multiplex broadcasting, teletext, and satellite broadcasting. In addition, Extended Definition TV (EDTV) and a new system, Hi-Vision, were further developed with technology from Japan.

## ■ Profile

**吉野 章夫** *Akio Yoshino*

国立科学博物館産業技術史資料調査主任調査員

昭和41年3月	電気通信大学電子工学科 卒業
同年4月	日本ビクター（株）入社 主としてテレビ技術部、テレビ研究所にてテレビ受像機、ハイビジョン受像機、PDPテレビの開発設計を担当
平成11年4月	技術開発本部にて新ディスプレイの研究開発を担当
平成14年8月	日本ビクター（株）を定年退職
平成15年4月	国立科学博物館 主任調査員

## ■ Contents

1.はじめに.....	181
2.テレビ開発期と開発空白期(1925～1945) ...	182
3.テレビ放送開始からテレビが一家に1台の時代へ (1945～1980).....	191
4.テレビが変わる時代(1980～2000) .....	206
5.まとめ——デジタル放送時代、大画面薄形テレビ 時代への幕開け(2000～).....	220
6.あとがき.....	222



# History of Power Transformers in Japan and Description of Related Historical Materials

2

Toshiyuki Yanari

## ■ Abstract

The development history of transformer technology in Japan can be divided into three eras.

The first era, “from copying to domestic production” dates from the start of transformer production in 1893 through to the post-war era. Japanese technology started out being manufactured based on copies of overseas technology or produced through licenced technology contracts. By the 1920s, Japan had absorbed these technologies and grown to the point of becoming almost independent in its technology production; in the 1930s, Japan caught up to the level of technology that was available in the leading countries.

The next era, “breaking away from overseas technology” extends from the post-war era through to the mid-1970s. Japan’s post-war rebuild period was a time of revitalising its technical cooperation with other countries and actively introducing new technology from overseas. This was followed by the economic boom and a growing demand for electricity, which led to the achievement of high-capacity technology at almost the same level as the technology available overseas, as well as the achievement of higher voltage 500kV transformers. High capacity is accompanied by the issue of flux leakage. Overseas technology offered no solutions to this issue, since Japan had reached almost the same level of technology as that which was available overseas; Japan had to solve the problem for itself. There was also the issue of countermeasures for the newly-introduced partial discharge testing for high voltage; this took ten years to solve. These solutions proved to be the trump card in revolutionising manufacturers’ awareness of quality issues, bringing Japan to the forefront of other countries in terms of problem-solving.

The third and final era, “development of independent technology”, dates from the late 1970s through to the present day. Frictional static electricity generated between insulators and transformer oil, used as a coolant in the 500kV transformer since 1972, caused flow electrification, leading to dielectric breakdown. The lessons learned while attempting to solve this issue proved very useful in later development of independent technology in Japan. Specific examples include the development of UHV transformers and UHV insulation technology within a far more limited scope of freight transport than other countries and the successful development of the world’s first high-capacity gas-insulated transformer. These achievements were made by taking development back to the basics and down-to-earth validation. The new style of disassembled-for-transport transformer, which came about out of the very limited transportation conditions and the demand for high product reliability, was superior to the existing partition type transformers both in cost and in function and was expected to become widely adopted.

## ■ Profile

Toshiyuki Yanari

Chief Survey Officer, Center of the History of Japanese Industrial Technology, National Museum of Nature and Science

March 1962 Graduated from the Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Tokyo

April 1962 Started working at Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd. (now Toshiba Corp.)  
Worked on designing and developing power transformers for the next 40 years

October 1985 Awarded a degree from the University of Tokyo for research on the long-term insulation reliability of UHV transformers

April 1990 Chief engineer

August 2001 Retired from Toshiba Corp.

April 2003 Doctor of Engineering; Chief Survey Officer, National Museum of Nature and Science

## ■ Contents

1. Introduction
2. Overview of the Developmental History of Transformer Technology in Japan
3. From Copying to Domestic Production (Pre-War Transformer Technology)
4. Breaking Away from Overseas Technology (Post-War Rebuild to 500kV Transformers)
5. Development of Independent Technology (Overcoming Flow Electricification and the Challenge of New Technology)
6. Technology Systematisation
7. Transformer Conservation