

サービスロボット技術発展の系統化調査

A History of Japanese Service Robotics

楠田 喜宏

Yoshihiro Kusuda

要旨

2004年度に行った「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、分析を行った。今回の調査は産業用ロボット以外の一般用途に使われている「サービスロボット」を対象としている。

ロボット技術はまず産業用ロボットを対象として発達したが、その発展に伴い、現在、産業用以外の一般分野への可能性が現実のものとなってきた。「21世紀はロボットの世紀」という声があるのもこの「サービスロボット」の分野に対する期待からである。

本報告は、まず、現在に至る人間とロボットのふれあいの歴史を概括し、文芸作品、工芸品として存在していたロボットがオートメーション技術、メカトロニクス技術、知能化技術の発展に伴い、いよいよ人間と共存する存在にまで発展してきた過程を述べ、その背後には、ロボットという自動機械に対する人間の特別な思い入れが存在していることを明らかにしている。特に日本においては、江戸時代のからくり人形、大正時代から昭和初期にかけての第1次ロボットブームにみられるようにロボットに対する親近感が存在していたこと、産業用ロボット事業が日本で世界に先駆けて開花したのは日本社会のロボットに対する親近感によることを述べている。

次いで、サービスロボットが今後のロボットの発展を牽引すると考えられている背景、産業用ロボットが先行して発達した理由、サービスロボットでは産業用ロボットでは実現されていない高度の自律性が要求される背景を説明し、将来「人間と共生するロボット」の実現のためにはさらなる努力が必要であることを明らかにしている。

その最たるものは「非構造化環境」に対処するための技術である。産業用ロボットがまず先行して成立したのは自動化に好都合な「構造的環境」が存在したからであった。ここで実現された技術によってようやく「非構造的環境」への対処への足がかりが出来てきたのであるが、サービスロボットの実現のためには更に高度のロボット工学の知見が必要である。これに関連して、2足歩行などの移動技術、工場外の環境に対する耐環境技術、環境認識のためのセンシング技術、自律的に行動するための知能化技術などの現状を述べている。

サービスロボットは、まず、原子力、宇宙・深海開発の必要性から人間が働くことの出来ない「極限環境」の中で働くロボットとして出現した。完全な自律性のあるロボットを待てず、放射線環境、深海、宇宙空間、極小空間にたいして遠隔操縦をベースとしたマニピュレータ型ロボットが実用されている。

次いで、人間にとって不快な作業を代行するサービスロボットが建設、土木、エネルギー、環境保全、防災などの公共分野、社会インフラ整備の分野で発展してきた過程を分析している。

ここで確立された技術が、より人間生活に密着した農業、林業、酪農・畜産、水産、医療、福祉といった産業分野へ発展しつつある状況を考察している。

20世紀末、ホンダのASIMO、ソニーのAIBOが人間の身の回りで使われる新しい可能性を示した。これに触発されて、人間型ロボット、動物型ロボット、これの応用であるエンターテインメントロボット、癒しロボット、家庭用ロボット、教育への応用など人間の生活に密着したロボットへの発展が始まっている姿を明らかにしている。

このような現状を踏まえて、上記各応用分野に開発されて来た技術を横断的に考察し、サービスロボット技術の発展過程の系統的分析を試みている。

サービスロボット分野には、今まで大きな研究開発の努力がなされてきたが本当に実用化、普及が進展している例は多くない。その原因は、これまでの研究開発には、サービスロボットの実現に必要な膨大な量のソフトウェアの開発固定費をどのように回収するかという事業戦略からの視点がほとんど見られず単なる技術的好奇心、話題性から研究開発が行われてきたことによることを論証している。

しかも、すべての新技術を自前で開発するというアプローチで行われてきたためすでに開発された成果を他のプロジェクトで再利用することは事実上不可能であった。従来の個別努力の延長ではなく、サービスロボットの今後の発展のためには、技術のオープン化、モジュラー化を実現する方向に研究開発の方向を大転換しなければならないことを強調し、今後の方向に対する具体化提案をおこなっている。

最後に、「ロボット技術史年表」「資料一覧表」「サービスロボット発展系統図」を付録として添付している。

Abstract

Last year, the National Science Museum published “A History of Japanese Industrial Robots”, which described how these robots were first developed and then improved. Subsequent to that, this paper reports where Japanese “service robots” (specifically used by the general public outside the manufacturing environment) stand in terms of technology and business.

Although the mass media have enthusiastically been talking about service robotics as if they are about to immediately affect our daily lives, the reality is not yet there. In an attempt to reveal the real story, we will review where service robotics now stands and provide insights into how we can make improvements to make its use widespread.

Japan has an edge in exploring the world of robots in business. Indeed, the concept of industrial robots was created in U.S., but the evolution into industrial products in real business was accomplished by Japan. The author attributes Japan’s success to its smooth acceptance of the concept of robots by society, which stems from the cultural, mental, and social heritage of the nation. That is why humanoid robots are flourishing throughout Japan unlike other countries. The report keeps track of the history of service robotics to identify the secret behind Japan’s success in this area.

Service robots developed and used in four areas are reviewed. These are used in 1) non-human-accessible environments (nuclear facilities, deep ocean projects, space exploitation, and micro- and nano-space), 2) the public sector (construction, energy generation, hazard prevention, and environmental protection), 3) general industries (agriculture, forestry, dairy farming, fishing, and medical treatment), and 4) human life (humanoids, entertainment, home robots, and educational tools).

It gives an account on what makes service robots different from industrial robots and emphasizes that a new approach is needed to establish a new, viable service robot business.

One big issue is how to cope with the “non-structured environment” in which service robots should work. This is a critical difference from industrial robots working in a “structured environment”, which makes it easy to introduce automation. We need more advanced science and technology for this “un-structured” solution, notably in the area of artificial intelligence.

Another issue is how service robots can be developed to be viable products in the real world market. We clarify why although much time, effort, and money were expended in service-robot exploitation in the past and many research papers were written, no sizable service-robot market was created. The causes lie in the fact that all the components used in developing them were introduced independently. Although similar (or even identical) design problems were addressed by many of the different projects, it is virtually impossible to reuse technologies that have been developed elsewhere. Clearly as experience grows in robotic research, the development community may be able to reuse some aspects of the work that has already been carried out. It should be emphasized that “open” and “modular” approaches to robotics are above all the key issues in the process. We should not duplicate previous efforts and re-invent known solutions so that the wide and growing range of service applications can be adequately supported to allow specific solution issues to become much simpler and easier.

The report also provides suggestions on specific open and modular approaches to guide the future direction of Japanese service robotics.

A list of milestone products is included to identify where and how legacy achievements have been preserved.

Contents

1. まえがき	..... 3
2. ロボットと人間	..... 4
3. サービスロボットの登場	..... 12
4. 極限環境における応用	..... 15
5. 公共・社会インフラ整備への発展	..... 24
6. 生活関連産業への発展	..... 32
7. 人間生活の豊かさを求めて	..... 38
8. サービスロボット技術発展の系統化分析	..... 44
9. サービスロボットの今後の発展	..... 58
10. あとがき	..... 65
付録	..... 66

電力用タービン発電機技術発展の系統化調査

Historical Development of Turbine Generators
for Fossil and Geothermal Power Plants

田里 誠

Makoto Tari

要旨

明治維新直後に日本に入ってきた電気の利用は電気通信に始まり、照明、動力へとその利便性から急速に普及していった。そして、急増する電力需要に応えるため輸入機器による小規模火力・水力発電所が相次いで建設された。わが国の産業基盤として電動力が位置付けられるにしたがい国産化の要求が高まり、明治時代後期に始まった技術導入により国産タービン発電機が製作されはじめた。輸入技術の短時間での咀嚼により国産タービン発電機の大容量化は急速に進み、とくに第二次世界大戦前の国際情勢悪化により孤立するなかで、2極-60Hz機の世界最大級機を相次いで完成している。

第二次世界大戦による欧米諸国との大幅な遅れを早急に取り戻し、戦後復興の急速な電力需要に応えるため再び海外電機製造会社と技術提携し、1号機輸入、2号機以降は輸入図面により国産化する中で多くの新鋭火力発電プラントが建設された。

戦前の確立技術の継承、輸入図面・製品に含まれた要素技術の咀嚼と自力による設計法の確立により技術力は短時間で向上し、昭和30年代後半から自主技術による最大単機容量は年々更新され、大容量化時代の後半には世界最大級の700MW、1,000MW機が完成している。この様な目覚ましい国産機の大容量化実現には、要求仕様の明確化と国産技術を自ら評価し、その結果として記録的容量機の“製造の場”の提供を英断した電力会社の存在が大きい。

その後の経済情勢、エネルギー事情、そして環境問題など電力事業を取り巻く環境は大きく変わり、その結果火力発電プラント、タービン発電機に対する要求も多様化してきた。

しかし、それまでの大容量化対応の中で確立された技術力、特に計算機応用による解析力の著しい向上と疲労設計・材料疲労データ蓄積により多様化ニーズへの対応に特に大きな技術課題はなかった。

一方、電力需要は着実に伸長しているが昨今の伸び率は低く国内市場は縮小段階にあり、さらに規制緩和による競争激化・低価格化など新たな問題が生じている。輸出競争力や価格競争力の強化から「技術のローエンド化」が進み、大容量空冷発電機、大容量水素間接冷却発電機が注目され、それら実現のための特徴ある技術が日本でも開発され世界レベルで普及しつつある。

これらの火力発電システム、火力・地熱用タービン発電機の技術の発展の歴史を辿り、そこに見られる技術進展の経緯と革新的な技術・製品について黎明期から今日までを概観する。

Abstract

Electricity was introduced into Japan just after the Meiji Restoration and initially applied to telegraph systems, electric lighting, and electric motor driving systems because of its good availability. The rapidly increasing demand for electricity led to the construction of a large number of small thermal and hydro electric power generating stations using imported equipment. While the growing use of electric motor driving system was becoming a major driving system for various kinds of industries, the demand for domestic products was getting stronger. The manufacturing of steam turbines and generators began with the technical assistance of foreign companies contracted at the end of the Meiji period. In a relatively short period of time, the imported technology was well studied and understood, resulting in a rapid increase in unit capacity. In particular, the world's largest two-pole, 60Hz turbine generators were manufactured even though there was an international quarantine due to the worsened international circumstances.

To facilitate catching up with the West, which had advanced remarkably during the Second World War, and to meet the rapidly increasing demand for electricity due to recovery efforts following the War, most domestic turbine generator manufacturers again contracted for technical assistance from more advanced manufacturers in the West. The first unit was imported from the West, and the second unit that was the same size as the first was manufactured by a domestic manufacturer under contract for technical assistance. These closer relationships with Western manufacturers enabled the construction

of a large number of advanced thermal power plants.

The technical abilities of domestic industries rapidly improved on the basis of established technologies before the War, and new design technologies derived from imported products and technical documents were established after the War. Record-making larger turbine generators were manufactured yearly during the last 30 years of the Showa period by applying home-grown technologies, culminating with the manufacture of the world's largest 700 and 1000MW turbine generators. The rapid increase in the unit capacity of domestic generators was due to closer collaboration with potential electric power companies that could provide technical specifications and improve the manufacturer's ability to evaluate the application of proposed technologies. Finally, domestic manufacturers received orders from power companies to produce large capacity generators.

The drastic changes in the circumstances of the power business (economic conditions, energy shortages, environmental concerns, etc.) have led to widely diversified requirements for power stations and turbine generators. The technical potential established in the course of increasing unit capacity, the remarkable progress in analytical technology by the application of computers, and the accumulation of material fatigue data have made it possible to fully meet these diversified requirements, so that no further development of technologies seems necessary.

While the demand for electricity in Japan is still growing, the yearly growth rate in electricity consumption is very low, resulting in a smaller market. This, combined with deregulation, has led to increasing competition and falling prices. These difficult business conditions have led to new design concepts like low-end technologies aimed at improving price competitiveness, functionality, reliability, etc. Example products include larger air-cooled generators and larger indirectly hydrogen cooled generators. To design and manufacture such low-cost, high-quality generators, domestic manufacturers are developing technologies that are being applied worldwide.

This paper discusses the historical developments related to thermal and geothermal power plant generators and summarizes the technical trends and innovative technologies of the entire turbine generator history, starting from the earliest stage.

Contents

1 .はじめに	..... 71
2 .発電技術の推移	..... 72
3 .電力事業の推移	..... 85
4 .時代のニーズに応えた発電機技術の変遷	..... 103
5 .ニーズに応え・実現した主要発電機技術	..... 122
6 .発電機技術の発達を支えるサポート技術	..... 144
7 .考察	..... 170
8 .まとめ	..... 174
謝辞	..... 175

専用船建造技術発展の系統化調査

Systematic Survey of the Development of Specialized Shipbuilding Technologies

吉識 恒夫

Tsuneo Yoshiki

要旨

昨年実施した大型タンカー建造技術に引続き、今年度は、多数建造されている専用船建造技術の発展に関し調査した。対象専用船として、コンテナ船、液化ガス運搬船、ばら積み貨物船、自動車運搬船を選び、建造船舶の動向と関連する技術の進展・開発状況に関する調査を実施したので、以下に調査結果の概要を述べる。

対象とした何れの専用船とも、戦後の社会経済が著しく発展した1960年代以降に出現している。1954年鉄鉱石を専用に輸送するばら積み貨物船の建造が、多くの専用船の始まりと言える。経済発展による粗鋼生産量の増加により、鉄鉱石・石炭の輸入が急増し、1960年以降鉄鉱石・石炭・穀物などを専用に輸送するばら積み貨物船（Bulk Carrier：バルクキャリア）の建造が活発化した。1966年には、種々の雑貨類をコンテナ容器に収納し、そのコンテナ容器を直接船に積み込み輸送するコンテナ船が米国船社により運航された。我が国海運界も米国マトソン社のコンテナ輸送提携申し入れを受け、1968年より我が国と米国西岸間のコンテナ船による定期航路を開設、その航路に投入するコンテナ船の建造により、我が国のコンテナ船建造が始まった。経済成長による生活環境の変化などによりプロパンガス需要の急増、或いは環境汚染を防ぐクリーンエネルギーである天然ガス利用への転換が進んだ。その結果、これ等ガスの海外からの輸入が必要となり、ガスを液化して輸送する液化ガス運搬船（LPG船、LNG船）の需要が急増した。自動車運搬船は、自動車業界の目覚ましい進展により、海外への輸出が急激に増大し、対応すべき効率的な海上輸送方法が求められ、自動車運搬専用船が生まれた。1965年頃より自動車運搬船の建造が始まり、1970年以降は自動車のみを効率的に輸送する自動車専用船（PureCar Carrier：PCC）が多数建造されている。

これ等専用船を建造する造船基盤技術は、戦後の造船業界の努力により1960年始め頃までに充分整備され、各専用船建造に必要な固有技術開発を進める事により対応可能な状況にあった。今回調査した専用船の中で、他の専用船と異なる技術が必要となるのは液化ガス運搬船である。プロパン・天然ガス（メタンガス）の液化は、冷却または加圧によらねばならぬが、貨物を大量輸送する船舶では、通常冷却による液化方法を選んでいる。各々のガス液化温度は、プロパンガス－42℃、天然ガス－162℃で、対応低温技術の開発により、多数の液化ガス運搬船が建造されて来ている。特に天然ガス液化温度は－162℃と極低温で、熱変化に伴う格納容器の収縮問題、断熱対応、低温に適応する容器材料問題などあり、輸送方法基本概念は海外にて開発された。大多数の我が国造船会社は、海外にて開発された基本概念を技術提携し、具体的な建造に関連する細部に亘る技術開発を行う事により、高品質な液化ガス運搬船を建造している状況である。

液化ガス運搬船以外の専用船で、他の専用船に比し高度な技術が必要となるのはコンテナ船である。コンテナ船の導入により、港湾荷役が合理化され、荷主から貨物受け取り先までの一貫輸送方式が実現出来た。コンテナ船需要は急速に高まり、輸送の効率化を目指し船型の大型化が急速に進んだ。コンテナ船は定期航路を定められた時間内での運航が要求されるので、種々変化する波浪海象中での航行速力を維持出来る船型開発が重要な要素である。従って水槽試験と解析技術などを併用し、高速化・大型化する船型開発を行い、多数の大型コンテナ船が建造されている。

鉄鉱石など比重の大きい貨物を積むばら積み貨物船、自動車の効率的積み付けが可能となる自走式荷役方法を採用する自動車運搬船は、従来にない船体構造配置が求められ、慎重な船体構造強度の確認が必要となっている。構造強度に関する設計技術は、コンピュータの発展により有限要素法（FEM）技術を早期に採り入れ、安全性を十分に確認し、載貨重量20万トン以上の大型ばら積み貨物船を含め、多数建造されている状況である。

経済成長と共に、海上荷動き貨物の変化と輸送の効率化を求め、多種類の専用船の建造需要が起きて来たが、我が国造船業界は造船基盤技術の構築と、専用化に対処する技術の開発により多数の専用船が建造されている状況が確認出来た。

Abstract

Following up on the survey of large tankers conducted last year, this year we conducted a survey regarding the Development of Specialized Shipbuilding Technologies that have been used in the construction of many ships. The specialized ships examined in this survey are container ships,

liquefied gas carriers, bulk carriers, and automobile carriers. The survey focused on the trends in ships under construction, and the progress and development in related technologies. An outline of the survey results is presented below.

All of the specialized ships covered in the survey first appeared during or after the 1960s, when Japan experienced an exceptional rate of economic growth following the 2nd World War. The construction in 1954 of bulk carriers that specialized in transporting iron ore could be considered the beginning of many specialized ships. The increased production volume of crude steel that resulted from this economic development brought about a rapid increase in the import of iron ore and coal, and starting in the 1960s, the construction of “bulk carriers,” designed especially for transporting iron ore, coal, grains, and other bulk goods, became much more active. In 1966, American shipping companies began operating “Container Ships,” in which various types of goods were stored in containers, and those containers were loaded directly onto the ships for transport. The Japanese shipping industry received a request from Matson Inc. of the U.S. to collaborate in container shipping, and in 1968, regular liner shipping routes were established for container ships running between Japan and the West Coast of the U.S. The construction of the container ships being introduced on these shipping routes marked the beginning of container ship building in Japan.

The demand for propane gas increased rapidly as a result of factors such as changes in living environments accompanying Japan's economic growth, and there was a gradual transition to the use of natural gas, a clean energy that prevents environmental pollution. As a result, it became necessary to import these and other gases from overseas, and this led to a rapid increase in the demand for liquefied gas carriers (LPG ships and LNG ships) to transport gases in liquefied form. International exports increased rapidly with the remarkable growth of the automotive industry, and specialized automobile carriers combined bulk cargoes, or “Pure Car Carriers (PCC),” were developed in response to the demand for more efficient marine transport methods to accommodate this growing demand. Construction of combined automobile carriers began around 1965, and from 1970, many Pure Car Carriers were built to enable the efficient dedicated transport of automobiles.

The fundamental construction technologies used in the construction of these specialized ships had been fully put in place by the beginning of the 1960s through to the efforts invested in the shipbuilding industry following the war, and the unique needs of each type of specialized shipbuilding were met by the later development of specific technologies. Among the specialized ships covered in this survey, it was the liquefied gas carriers that required technologies differing from other specialized ships. The liquefaction of propane and natural gas (methane gas) must be achieved through either cooling or pressure, but in the case of ships transporting large volumes of these substances, the method commonly selected is cooling. The temperatures for liquefaction of these gases are -42°C for propane gas and -162°C for natural gas. The construction of large numbers of liquefied gas carriers was made possible through the development of low-temperature technologies that met these requirements. Particularly in the case of natural gas, the extremely low liquefaction temperature of -162°C presented numerous problems, including shrinking of the storage containers due to thermal changes, and problems with container materials in terms of insulation and resistance to low temperatures. For these reasons, the basic concepts for transport methods were developed overseas. The majority of Japanese shipping companies constructed high-quality liquefied gas carriers by using basic concepts for technologies developed overseas, and then developing detailed technologies related to specific construction issues.

Among the specialized ships other than liquefied gas carriers, it was the container ships that required more advanced technologies than other specialized ships. With the introduction of container ships, port and harbor cargo handling became more efficient, and it became possible to transport cargo directly from the cargo sender to the receiver in a single consistent process. Needs increased rapidly as a result, and the size of ships grew dramatically as a means of increasing transport efficiency. Because container ships are required to operate on regular shipping routes within a specified time schedule, it was essential to develop ships that could maintain running speed even in the midst of constantly changing ocean wave conditions. Many large container ships were built by combining the results of model tank tests and analysis technologies by computer, which enabled the development of large, high-speed vessels.

Bulk carriers that handle iron ore and other cargo with high specific gravity, as well as Pure Car Carriers that adopt automated cargo handling methods to enable efficient handling of automobiles, require structural localization of the ships that had never been used before, and also require careful conformation of the structural strength of the ship bodies. Design technologies related to structural

strength were incorporated at an early stage in the form of the computer-based “finite element method (FEM).” It is now possible to fully confirm structural safety, even in the case of large-scale bulk carriers that transport loads in excess of 200,000 tons.

In keeping with Japan,s economic growth, in addition to the changing types of cargo being transported by sea, there have been increasing demands for greater efficiency in transport, and for the construction of diverse types of specialized ships. Through this survey, we have been able to confirm that Japan,s shipbuilding industry is capable of manufacturing large numbers of specialized ships, through the construction of a firm foundation in shipbuilding technologies, and the development of specific technologies that respond to the requirements of each specialized application.

Contents

1 . はじめに	..... 189
2 . 戦後の世界船腹量と我が国の建造量	..... 190
3 . 戦後我が国造船技術の進展	..... 192
4 . 専用船の概要	..... 202
5 . コンテナ船建造技術と建造船	..... 205
6 . 液化ガス運搬船建造技術と建造船	..... 217
7 . ばら積み貨物船建造技術と建造船	..... 242
8 . 自動車運搬船建造技術と建造船	..... 252
9 . まとめ	..... 256
謝辞	..... 258

矢頭良一の機械式卓上計算機「自働算盤」に関する調査報告

Biquinary mechanical calculating machine,
“Jido-Soroban” (automatic abacus), built by Ryoichi Yazu

山田 昭彦
Akihiko Yamada

要旨

最初の計算機械はドイツのチュービンゲン大学教授のウィルヘルム・シッカート（1592–1635）が作ったものといわれているが、計算機の実物は現存していない。現在残されている最古の計算機はフランスの哲学者・数学者ブレイズ・パスカル（1623–1662）が発明・製作した機械式の“パスカリーヌ”である。この機械は1642年に試作され加減算を対象としていたが、1674年にドイツの哲学者ゴットフリート・ライプニッツ（1646–1716）が、段付歯車を用いて、加算と減算のほか加算の繰り返しにより乗算もできるような機械式計算機を発明している。1820年代はじめにフランスのチャールス・トーマスがライプニッツの方式を改良し、機械式計算機をはじめて商品化した。その後ロシア居住のスウェーデン人W. T. オドナーはアリスモメートルに改良を加え、ライプニッツの段付歯車を出入歯車式に改良した計算機を開発した。オドナーは1878年に実用計算機を販売し、この方式がその後広く用いられた。

わが国の機械式計算機としてはタイガー計算器がよく知られている。出入歯車式を採用し1923年に虎印計算器という名称で売りだされたが、その後タイガー計算器に名前が変更され、1970年まで製造、販売された。従来わが国の最初の計算機はタイガー計算器と思われていたが、それ以前1902年に矢頭良一が発明し製作した機械式卓上計算機「自働算盤」があり、これがわが国最古の金属製の機械式計算機である。この計算機は長く忘れられていたが、森外が『小倉日記』⁽⁴⁾の中に矢頭良一と自働算盤のことを記していたことから、残されていた1台が1960年代になって再発見され注目されることになった。

本報告では機械式計算機の歴史について概観した後、今回調査した矢頭良一の「自働算盤」について述べる。「自働算盤」は数値の入力にそろばんと同じ2–5進法を採用し、独特のメカニズムをもつ歯車式計算機である。乗除算の際に桁送りが自動的に行われることおよび演算終了時に動作が自動的に停止することなど、当時の海外の計算機よりもすぐれた機能を実現している。1903年に特許が取得されて製作され、1台250円で販売された。矢頭良一の生涯の概略も紹介し、飛行機の研究および早繰辞書の発明についても簡単にふれる。「自働算盤」の現物は、2004年7月から11月に開催された国立科学博物館の「テレビゲームとデジタル科学展」⁽¹⁹⁾のなかではじめて公開展示された。

Abstract

Wilhelm Schickard (1592–1635), a professor of Tübingen University, in Germany, constructed the first calculating machine but no copy of the machine is extant. In 1642, French mathematician and philosopher Blaise Pascal (1623–1662) designed and built a small and simple adding machine. He produced about 50 different machines during his lifetime, some of which still exist. German Gottfried W. Leibniz (1646–1716), another great universalist, invented a calculating machine using a stepped drum. This mechanism enabled him to build a machine for doing multiplication and division as well as addition and subtraction. Charles Xavier Thomas de Colmar, in France, improved the Leibniz mechanism and produced the first commercial model called an arithmometer in the early 1820s. In Japan, Ryoichi Yazu invented a calculating machine called a “Jido-Soroban” (automatic abacus), in 1902. It was based on a biquinary system similar to an abacus and had a unique drum mechanism that allowed it to add, subtract, multiply, and divide decimal numbers. He got two patents, one for the original machine, in 1903, and another for an improved model, in 1910. The latter mechanism could shift numbers automatically during multiplication and division and stop calculations automatically when finished.

Yazu named his product the “Patent Yazu Arithmometer” and manufactured about 200 units in Tokyo. The unit price was 200 yen at that time. He met Mori Ogai in Kokura, Kyushu, when he was developing his machine. Mori introduced him to professors at the University of Tokyo. When Yazu died, at the age of 31, Mori expressed his regret at Yazu’s premature death. Mori also wrote of his meeting with

Yazu in 1901 in his diary “Kokura Nikki”. Mori was a novelist and physician, who is considered one of the leading writers of the Meiji period. One of Yazu’s machines was found in the 1960s in the house of a descendent of Yazu’s sister. This machine was exhibited at the National Science Museum in Tokyo from July to November of 2004.

Contents

1	はじめに	..... 273
2	機械式計算機の歴史	..... 274
2.1	初期の機械式計算機	..... 274
2.2	出入歯車式計算機	..... 275
2.3	ミリオネア計算機	..... 276
3	矢頭良一と自働算盤	..... 278
3.1	矢頭良一の生涯	..... 278
3.2	自働算盤の構造と特徴	..... 279
3.3	自働算盤の再発見	..... 283
4	矢頭良一のその他の研究	..... 285
5	おわりに	..... 287