

油圧ショベルの技術の系統化調査

Hydraulic Excavator Technology Systematization Study

1

生田 正治 Masaharu Ikuta

■ 要旨

建設機械の代名詞である油圧ショベルは、産業革命期の蒸気エンジンの発明を機に欧米で開発された資源開発や土木工事用の機械式ショベルが油圧方式へ進化して生まれた。20世紀後半にイタリアで生まれた油圧ショベルをいち早く取り入れて国産技術で進化させ、世界の技術の潮流を作ったのは日本であると言っても良い。日本で国産化されて約50年になるが、今や世界の油圧ショベル市場において、技術面でも、販売面でもトップとなっており、輸出においては機械産業の中心的存在である。油圧ショベルの市場は世界的に見ても中国や途上国を中心にインフラ整備やマイニングなどの用途に向けて需要は拡大基調であり、今後も期待できる。

油圧ショベルがこのように進化した背景には、終戦後の復興を早期に実施し、先進国に追いつこうとする国の施策があった。復興に当たった旧建設省などの支援を受け、建設の機械化が促進された。そして油圧ショベルが国産化された時期には高度経済成長の波に乗り公共・インフラ工事や民間都市型工事を中心に油圧ショベルが多く使われた。

海外技術導入時には油圧システムが未熟で動きもぎこちなかったが、このように油圧ショベルの需要が大きくなる中、日本人の技術者により次々に改良されて、人間の手のように細かな作業ができるまでに進化した。また主要構造物についても損傷部分の解析に基づく継続的な改善と材料の品質向上が相まって、耐久性が大幅に向上した。更にはメンテナンス性も向上して世界トップの製品となっている。1980年中頃には既に技術面では世界のトップに達していたと思われるが、その後も世界的潮流である省エネ技術や排ガスなどの環境負荷低減技術に継続的に取り組み、世界トップの技術を維持している。

このように日本の市場で普及した要因としては、油圧ショベルが日本の狭い工事現場に適していたことがひとつ、もうひとつは油圧ショベルのメーカーが多かったことから競争が激しく、少しでも性能が高くしかも安い製品でなければ売れないという状況があったことである。販売面、技術面で世界のトップに立った油圧ショベルではあるが、販売面では最近、中国や韓国の追い上げが厳しい。しかしこのような背景の中でも日本のメーカーは、IT技術を駆使して販売後の機械の稼働状況、トラブルの発生状況をモニターすると同時に、顧客に対するメンテナンスのアドバイスの提供など、顧客に最大限貢献できる技術を開発して差別化することで市場をリードし続けている。

一方国内では、油圧ショベルの動作が人間の腕と相似しており、一般の機械に比べて複雑な動作を人の何十倍の力で行える機能を持っていることから、2つの腕を持つ双腕型ショベルや遠隔操縦型ショベルなどが市場に出てきて、災害復旧などで活躍し始めている。まさに人間型ロボットへの進化の途中とも言える。

本論文は、油圧ショベルが生まれてから半世紀の間に日本の技術で世界のトップに立った背景、進化の過程や内容を記載している。これが読者の参考になることを期待している。

■ Abstract

Hydraulic excavators, one of the most widely-used pieces of construction machinery, evolved from the mechanical shovels developed in the Western world for use in mining and civil engineering works the invention of the steam engine in the Industrial Revolution. While hydraulic excavator first appeared in Italy in the late 20th century, it was Japan that quickly introduced and developed it using domestic technology, and turned it into a global trend. Fifty years after domestic production started, Japanese hydraulic excavators rank first in the world, both technologically and commercially. They are also one of Japan's key machinery exports. Hydraulic excavators are in high global demand, a trend that should continue, as more infrastructure development and mining are expected in China and other developing nations.

Underpinning the evolution of the hydraulic excavator in Japan was the eagerness of the government at the time to quickly recover from World War II and catch up with the developed nations. The use of machines on construction sites was encouraged by the former Ministry of Construction, which was in charge of post-war rebuilding efforts. By the time domestic production of hydraulic excavators began, these machines were already being widely used in many public and infrastructure works as well as private city building projects amidst rapid economic growth.

When the hydraulic system first arrived in Japan, it was still in its infancy and was incapable of smooth movement. Faced with a growing demand for the hydraulic excavator, Japanese engineers worked to successively improve the technology to the point where it could perform as detailed operation as a human hand. The durability of the main structural parts also significantly increased, thanks to advances in materials and continuous efforts for improvement based on analyses of damaged parts. As a result, with improved maintainability, Japanese products became highest quality in the world-class product. By the mid-1980s, Japanese hydraulic excavators were the most technologically advanced in the world. Even today, engineers continue to offer cutting-edge technologies, continually working on new ways to reduce their environmental load such as conserving energy and reducing emissions, in line with global trends.

Hydraulic excavators became popular in Japan for two reasons: firstly, the equipment was compact enough to fit on small construction sites in Japan, and secondly, the market was very competitive—with so many manufacturers producing hydraulic excavators, they had to deliver very good products at low cost in order to survive. While Japanese hydraulic excavators account for the highest sales and most advanced technology in the world, Japan's commercial lead in the field has recently been threatened by China and South Korea. Nonetheless, Japanese manufacturers continue to lead the market, standing out from the competition with their customer-oriented technologies, using information technology for after-sales monitoring of machines, checking on the operating status, checking for any problems and offering maintenance tips to customers.

Hydraulic excavators move like human arms and can perform complex operations that no other machines can do, with a power far greater than that of humans. It is because of these characteristics that new types of hydraulic excavators are emerging in the domestic market, such as two-arm excavators and remote-controlled excavators, which are playing key roles in disaster areas. These new types of excavators may be taking us one step closer to humanoid robots.

This paper discusses the background and details of how Japanese technology came to produce the most technologically advanced hydraulic excavators in the world in just half a century after their conception. It is the hope of the author that readers will find this study a useful reference.

■ Profile

生田 正治 *Masaharu Ikuta*

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42年3月 新潟県立柏崎工業高校機械科卒業
昭和42年4月 日立建機株式会社へ入社
昭和43年4月 建設機械のサービス(検査・修理・工程管理)部門に従事
昭和51年8月 油圧ショベルの応用製品(受注開発品)の設計・開発・製造に従事
平成9年4月 油圧ショベルの対人地雷除去機開発に従事
平成16年8月 本社商品開発事業部 開発企画室長
平成18年4月 双腕型油圧ショベルの開発を推進
平成21年4月 定年によりシニア社員(技術部部長相当)
平成24年1月 原発復興用小型双腕ロボット(アスタコNEO)の開発を指導
平成25年3月 日立建機株式会社を退社。

■ Contents

1. はじめに	3
2. 油圧ショベルの概要	4
3. 油圧ショベルの進化と背景	13
4. 油圧ショベル主要技術の発展	24
5. 普及を支える応用技術	59
6. 安全及び環境基準の変遷と対応	65
7. 結びに	73
(添付資料)	
(1)油圧ショベルの主要技術の系統図と社会背景	75
(2)建設機械メーカーの世界規模でのアライアンス状況	76
油圧ショベルの技術 産業調査資料 所在確認	77

■ 要旨

この「医薬品創製技術の系統化調査」では人類が文明発祥の頃から使ってきた生薬（動植物、鉱物などの天然物医薬品）の時代から、近代科学によって疾病の原因が解明されるようになり、その原因を除くための特定の作用機序をもつ薬が研究開発されるようになるまでの歴史をたどり、系統的に調査したものである。生薬そのもので現在も使われているものは少ないが、生薬の成分には薬効が強力なものやその作用機序に特徴のあるものがあり、これらが現在の創薬技術の発達の基礎となって、医薬品の創製には大きな役割を果たしてきている。

本稿は三つの章で構成されている。

まず第2章では、人類が使ってきた薬の歴史を古代文明の時代から現在までたどり「病気と薬の歴史」としてまとめている。その中は四部構成になっていて、①「太古から近世」では古代のメソポタミア、古代中国、古代インドの昔からギリシア、ローマを経て近代科学の黎明を迎えるまでの間に、呪術と共存した生薬の歴史と人類の最大の敵であった感染症への戦いの歴史を記した。

②「近代科学の黎明と薬」では近代科学の開花によって生薬に含まれる有効成分の分離・同定がなされた歴史と病原菌の発見の歴史を述べた。

③「近代創薬の始まり」では近代医薬品が科学的に創製されるようになるまでに、免疫学、化学療法学、薬理学などの基礎科学がどのように進化したか、欧米に遅れて取り組んだ「日本の薬事情」はどうであったかを書いている。創薬は第二次大戦後さらに急速に進化を遂げるが、その過程は④「新薬から改良新薬さらに画期的新薬へ」として、β遮断薬・消化器系・抗炎症・中枢系の薬を例にとって記した。

次に第3章で医薬品を創製するためのプロセスをまとめ、サイエンスの進化とともに変化していった技術を「創薬技術の進歩（システムサイエンスとしての創薬）」として記した。20世紀後半には創薬は有機合成と薬理の専門家だけの作業で出来るものではなく、多くの他のサイエンスの専門家を必要とする「サイエンスの集積の場」となっていくが、その過程についても述べている。

第4章では各論として今日もっとも患者が多く、関心度の高い『生活習慣病』を選んで近代創薬から現在に至るまでの医薬品の推移を記した。生活習慣病としては「糖尿病」「高血圧」「高脂質血症」「血栓・凝固異常から生じる疾病」「高尿酸血症」に注目してこれらの疾病に対して研究開発されてきた医薬品の系統化調査を行った。

一方、医薬品は広い疾病領域で使われていて当然その種類は非常に多い。本稿で取り上げた生活習慣病以外にも中枢・末梢神経系疾患、心不全等の心疾患、呼吸器系疾患、泌尿器系疾患、ホルモン・内分泌系疾患、消化器系疾患、リウマチ・炎症系疾患、アレルギー・免疫系疾患、感覚器系疾患、病原菌やウイルスによる疾患、がん、オーファン・難病系疾患等があり、麻酔薬など外科手術に必須とされる領域もあるが、これらに関する薬の各論については別の機会にまとめることにしたい。

ただし、医薬品の創薬技術の完成に至る歴史をたどると、第二次世界大戦後急速に創薬技術は発展するが、最初に「近代的な創薬のシステム」を使って登場した幾つかの分野の薬については創薬技術の進歩とも関係するために簡単にそれらの歴史をひもといた。先に述べた「β遮断薬」、「消化器系薬」、「中枢系薬」、「抗炎症薬」である。

また、遺伝子工学の進歩で1972年頃から他種の遺伝子を利用できるようになり、バイオ技術で作られたいわゆる「バイオ医薬品」が誕生した。その製品は近年も増加しているが、これについても21世紀までの歴史の要約にとどめ、「抗体医薬」などの詳細については別の機会にゆずることとした。

図0.1は本稿の内容を簡単に説明したものである。感染症に対する薬とその他の薬に分けて歴史の流れを書いている。

生薬の成分の分析が19世紀に始まり、薬理学、有機化学等の進歩で創薬のプロセスが完成し、創薬技術で取り組みやすい病の薬に始まり、理論的あるいは偶然に助けられて新薬が創製され、しだいに複雑な病因の疾病が対象となっていった。2000年には人類の全ゲノムが解析され、現在では個別化医療、再生医療の研究が積極的に進められるようになっている。

一方、やはり19世紀に様々な病原菌の同定がなされ、人類を悩ませた感染症への対応策が免疫療法や化学療

法薬として登場する。病原菌への対応は 20 世紀半ばになり抗生物質でさらに大きく進化し多くの患者を救うことになった。

本稿では、生薬から近代創薬技術により理論的に創製された医薬品までを時代的背景を加味しつつ系統化的に調査したものである。

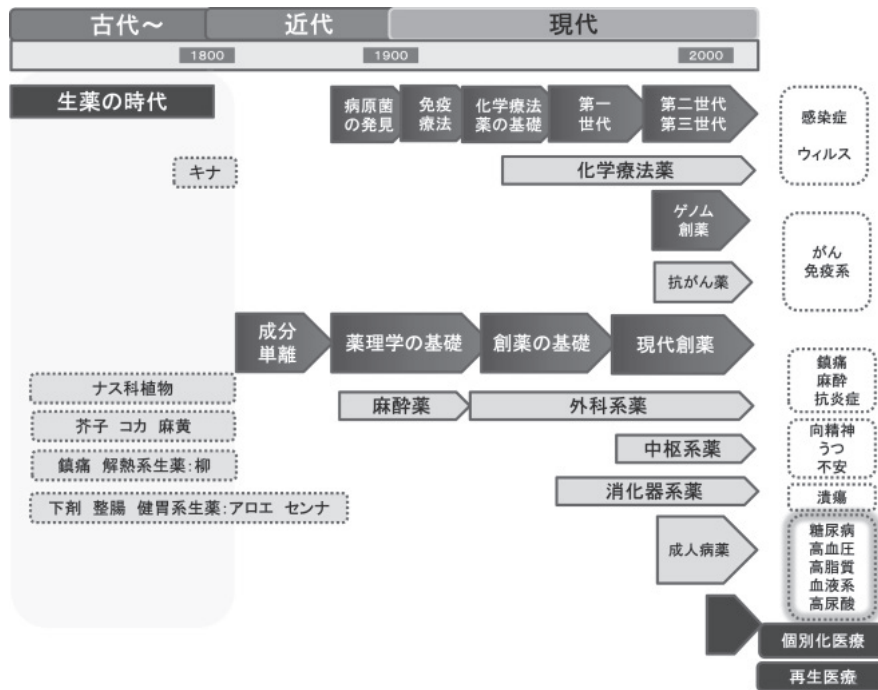


図 0.1 医薬品創製技術の系統化調査の構成

■ Abstract

This Survey on the Systemization of Industrial Technologies for Medicines systematically investigates pharmaceutical technologies by tracing the history of the advancement. It starts with crude drugs (natural drugs derived from minerals, plants, and animal substances), which have been used since the dawn of civilization. Then modern science discovered the causes of many diseases, which led to research and development of new medicines with specific mechanisms of action to eliminate those causes. Although crude drugs are rarely used at present, some of their ingredients are highly effective and others have unique mechanisms of action. These ingredients have made a significant contribution to modern pharmaceutical drug discovery as a basis for the advances of various technologies.

This paper consists of three chapters. The second chapter, *History of Disease and Medicines*, outlines the history of pharmaceutical drugs used from the earliest civilizations to the present day.

This chapter consists of four sections. The first section is History from Ancient to Early Modern Times, which narrates the history of crude drugs used together with remedies from witchcraft as well as the fight against humankind's greatest enemy, pandemic diseases, in Ancient Mesopotamia, China, and India through Greece and Rome to the dawn of modern science.

The second section, *The Dawn of Modern Science and Medicine* describes how modern science identified and isolated the active ingredients from crude drugs and the history of new pathogen discovery.

The third section, *The Origin of Modern Pharmaceutical Drug Discovery and Development* explains how basic sciences including immunology, chemotherapeutics, and pharmacology, have evolved into the modern medical system for the scientific drug development. This section also examines the circumstances of the pharmaceutical industry in Japan which started behind Western countries.

The fourth section, *From New Medicines to Improved Medicines and Innovative Medicines*, describes the process of the rapid evolution in Japan of pharmaceutical development after the Second World War using the cases of β -receptor antagonists and digestive, anti-inflammatory, and central nervous system medications as example.

The third chapter, *Technological Advancement of Pharmaceutical Drug Discovery and Development through Systems Science*, illustrates the process of drug development and technological innovation driven by advances in science. In the late 20th century, drug development became too complex to be accomplished just by pharmacologists and specialists in organic synthesis, evolving into a multidisciplinary science that necessitated a wide range of expertise. This process of evolution is also presented in the third chapter.

The fourth chapter discusses the advances of pharmaceutical drug discovery and development from modern times to the present using the example of lifestyle-related diseases, which have attracted attention as one of the most common health issues in current society. The drugs that have undergone research and development for lifestyle-related diseases are systematized, especially medications for diabetes, high blood pressure, hyperlipidemia, thrombosis and clotting disorders, and hyperuricemia.

In addition to drugs for lifestyle-related diseases discussed in this paper, there are numerous medicines available for a wide range of diseases such as central and peripheral nervous system disorders, cardiovascular diseases, heart failure, respiratory diseases, urinary tract disorders, hormonal and endocrine disorders, digestive tract disorders, rheumatism and inflammation, allergic and immune disorders, sensory disorders, bacterial and viral diseases, cancers, orphan and rare diseases, and medications such as anesthetics in surgery. The details of these drugs will be described in other papers.

This paper outlines the history of drug development such as β -receptor antagonists, and digestive, central nervous system, and anti-inflammatory related drugs, as mentioned above, because these were the first drugs created by the modern pharmaceutical drug discovery and development system and thus are closely related to advances of pharmaceutical development technology. This technology has evolved rapidly since the Second World War, and is becoming an established system at present.

Advancement in genetic engineering has enabled us to utilize the genes of different species since around 1972. Application of this biotechnology has opened up the way to develop the biological medicines, which are now growing in number. This progress is briefly summed up in this paper, and the details such as the antibody medicine will be covered in another opportunity.

This figure (Fig.0-1) outlines the discussion of the present paper. The history of medicines for infectious diseases and that of other medicines are shown separately in two chronological flow charts.

Analytical studies on the ingredients of crude drugs started in the 19th century. Afterward, advancements in fields of sciences such as pharmacology and organic chemistry led to establishment of the pharmaceutical drug discovery and development process, and a variety of new drugs have been developed, with some being based on theory and some being discovered by chance. Researchers first tackled the development of simple medicines that were easy to develop by using pharmaceutical technology, and then gradually expanded their efforts to include

medicines for complex diseases. After the human genome was first mapped in 2000, the attention of researchers has recently focused on personalized and regenerative medicine.

A scientific approach to the infectious diseases, involving immunotherapy and chemotherapy, also emerged in the 19th century, when many pathogens were discovered after years of fighting against this enemy. Since the invention of antibiotics in the mid 20th century, treatment of infectious diseases has been significantly improved, saving countless lives.

In conclusion, this survey systematizes the technologies for developing medications by tracing the advances from crude drugs to scientific development of modern medicines along with the historical background.

■ Profile

梅津 浩平 *Kohei Umezumi*

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

1969年 京都大学薬学部卒業
1971年 同大学院薬学研究科修士課程卒業
三菱化成工業(株)入社 中央研究所配属
1977年 ミシガン州立大学薬理学教室留学
1978年 エール大学 医学部 薬理学教室留学
1980年 京都大学 薬学博士
1996年 三菱化学(株) 医薬カンパニー 製品計画部長
2000年 三菱東京製薬 取締役 医薬総合研究所長
2001年 三菱ウエルファーマ(株) 執行役員 研究本部長
2002年 三菱化学(株) 執行役員 ヘルスクエア企画室長
(兼)三菱化学安全科学研究所 取締役
2004年 (株)三菱化学ビーシーエル 常務取締役
治験事業本部長 食品事業部長 研究開発部担当
2007年 三菱化学メディエンス(株) 取締役常務執行役員
事業開発本部長 アンチドーピングセンター担当
2008年 和洋女子大客員教授
2009年 三菱化学メディエンス顧問就任
2010年 三菱化学メディエンス退任

■ Contents

1. はじめに	83
2. 病気と薬の歴史	85
3. 創薬技術の進歩 (システムサイエンスとしての創薬)	137
4. 各論 (生活習慣病)	147
4.1 糖尿病薬	
4.2 降圧薬	
4.3 脂質低下薬	
4.4 血液凝固に関係する薬	
4.5 痛風・抗尿酸血症薬	
5. むすび・謝辞	203
創薬技術の系統図	206
医薬品産業技術史資料 所在確認	210
医薬開発年表	211

■ 要旨

今日の日常生活において、情報通信は欠かせないものになっている。広い意味での情報通信は、たとえば「のろし」により緊急連絡をするなど、古くから存在した。現代の情報通信は電気に依っているが、約 180 年前のモールスによる電信の発明に始まり、その約 40 年後に電話が発明された。その後の長い歴史を経て、今日の高度な情報社会を迎えている。

情報通信（狭義には、今は電気通信）において、人と人、人と機械、機械と機械の間の情報交換を担うのが交換システムである。電話の始まった約 140 年前には、その交換処理は人手により行われたが、20 世紀に入ると機械により自動化され、発展してきた。

本調査では、交換システム技術の進展を系統的に取りまとめて報告する。自動交換システムは、ステップバイステップ交換、クロスバ交換、電子交換と段階的に進展してきた。わが国においては、当初は、いろいろな技術分野と同様に欧米からの技術導入であったが、交換システムの自主技術開発の気概は常に旺盛なものがあつた。とくに、第二次世界大戦前に世界で初めて電子交換機を試作するという、挑戦的なプロジェクトもあつた。その後、長い空白の時を乗り越え、昭和 20 年代の後半には、クロスバ交換機を輸入し、これを契機に交換システム技術自主開発の機運が再び盛り上がった。さらに、電子交換システムの研究も並行して立ち上がり、国内の研究が活性化された。また、昭和 30 年代の初頭には、デジタル電子交換の基本原理解である、タイムスロット入れ替え方式や並列 PCM 交換方式が、わが国の研究者により発明され、昭和 40 年代以降のデジタル交換の開発につながって行った。

実用的には、経済性に優れたクロスバ交換機の開発に成功し、国内の通信環境の整備に極めて大きな役割を果たした。昭和 40 年代の初めのことである。並行して、電子交換システムの研究が続けられ、国際的にも多大な貢献をしつつ、アナログ電子交換機、デジタル電子交換機を開発・導入した。欧米の先進技術をフォローしながら、少し遅れてそれを凌駕するシステムを作り上げるという、日本的ではあるが、先人の並々ならぬ努力の結果である。連綿として続いた交換システム技術の研究開発の結果、サービス総合デジタル網（ISDN：Integrated Services Digital Network）の提供においては、遂に世界のトップに立った。本調査は、21 世紀直前までを対象とした。

■ Abstract

Information and communication technology is indispensable in daily life. Information and communication technology has existed since ancient days in such forms as the beacon, for example, for emergency communications. Today's information and communication technology relies on electronics. The technology started as the telegraph, invented by Morse around 180 years ago, and 40 years later the telephone was invented. We now enjoy the benefits of living in a world of advanced information communication thanks to technologies developed over many years.

Exchange systems enable information communication between people, people and machines, and between machines. Telephone exchanges began around 140 years ago operated by people, but in the early years of the 20th century, a switching system was invented by which exchange operations were executed automatically.

This report is a systematic study of the development of exchange system technologies in Japan. Automatic exchange systems such as the step-by-step, crossbar switching, and electronic exchange system were developed incrementally. In the early days, exchange systems were introduced from Europe and the United States, as were other technologies. However, researchers and engineers in Japan actively worked to independently develop exchange systems. Before World War II, there was a pioneering project for an experimental electronic exchange system: the first electronic exchange system in the world. Then, after many years of inactivity, crossbar switching systems were imported for technological tests in late 1955. This reawakened the desire in Japanese researchers and engineers to develop their own switching system. Moreover, research on electronic exchange systems began in parallel. As such, research and development for switching systems were very much activated in Japan. Then, in the mid-to-late 1950s, Japanese researchers invented fundamental technologies for digital electronic exchange in the form of the time slot interchange method and parallel PCM switching. These technologies led to digital switching system development after 1965.

The practical and economical crossbar switching system was successfully developed around 1965. The system played a very important role in improving the information and communication environment in Japan. In parallel to the development of the crossbar system, research on electronic exchange systems was continued and significant contributions to international standardization were made. After much work, an analog electronic exchange system was developed and introduced, followed by a digital electronic exchange system. Following the advanced technology of Europe and the United States, our predecessors succeeded in developing superior exchange systems by way of extraordinary effort, coming up from behind to eventually overtake in true Japanese style. As a result of many years of research on and development of exchange system technology, Japan was finally standing on top of the world in 1988, with the provision of Integrated Services Digital Network (ISDN). This survey studies switching technology up until just before the start of the 21st century.

■ Profile

川島 幸之助 *Konosuke Kawashima*

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5月 東京大学工学部計数工学科卒業
昭和44年6月 日本電信電話公社(現NTT)入社、通信トラヒック研究部長等歴任
平成 5年3月 「通信トラヒック工学に関する研究」にて東京大学より博士(工学)学位受領
平成 9年7月 NTTアドバンステクノロジー株式会社入社、トラヒックリサーチセンター所長等歴任
平成14年4月 東京農工大学工学部 教授、総合情報メディアセンター長等歴任
平成24年4月 東京農工大学 名誉教授、首都大学東京 客員教授
平成26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. まえがき	219
2. 通信網における交換システム	220
3. ステップバイステップ交換機	225
4. クロスバ交換機	229
5. アナログ電子交換機	236
6. デジタル電子交換機	248
7. サービス総合デジタル網 (ISDN)	268
8. あとがき・謝辞	273
交換機の系統図	275
交換機の所在一覧	276
交換機開発年表	279