

1 ソーダ関連技術発展の系統化調査

Historical Development of Soda Technologies

相川 洋明
Hiroaki Aikawa

■ 要旨

ソーダ工業は、原料塩を主原料としてか性ソーダ、塩素およびソーダ灰などを生産する基礎素材産業で歴史は古く、経済の発展とともに成長し、日常不可欠な基幹産業である。

製法的にみると、塩化ナトリウム溶液を電気分解してか性ソーダ、塩素などを生産する「電解法」と炭酸ガス、アンモニアガスを反応させてソーダ灰などを得るルブラン法、アンモニア・ソーダ法などの「非電解法」に大別される。当初は、主として「非電解法」によりソーダ灰、か性ソーダを得ていたが、塩素の需要の増加などにより次第に「電解法」が主流を占めるようになり、現在では、ほとんどが「電解法」により生産されている。

この基礎素材産業であるソーダ工業の主流を占める「電解法」を中心にとりあげてみると以下ようになる。

わが国のソーダ工業は、明治時代に始まる。当時はソーダ灰、か性ソーダなどのアルカリ性物質が主需要物質であったために、アルカリ性物質が単独に生産できる製法が主流を占めており、塩素を併産する電解法での生産は僅かであった。

設備的にシンプルであり、塩素を併産する電解法が注目されたが、当時は国産技術がなく、海外からの技術導入が図られるが成就せず、海外技術を基にわが国において独自に改良が加えられた水銀法の「大曹式」および隔膜法の「中野式」の開発により、最初の電解工場が大正初期に稼動した。その後、水銀法は「大曹式」の他に独国から「クレブス式」が技術導入され、この2方式がわが国水銀法の技術的基礎となった。

戦後、1958(昭和33)年に始まったわが国の石油化学工業は、化学工業分野における産業構造を大きく変えていった。従来のレーヨン、紙・パルプ等を主体とするか性ソーダ需要中心から、塩化ビニル・塩素系溶剤等を主体とする塩素需要中心へと変わっていった。高度成長期に入ったこの時期、ソーダ工業は急激に拡大し、か性ソーダの高品質化や電解槽の大型化などから水銀法の比率が高まり、水銀法の技術開発も盛んとなった。

熊本県水俣に発生した「水俣病」は、水銀追放運動に発展し、水銀を使っていた水銀法設備に飛火する。行政指導により水銀法は「非水銀法」である「隔膜法」に製法を転換するが、隔膜法技術はほとんど海外から技術導入された。

製法転換は約10年間にわたって行なわれた。第1次製法転換では水銀法設備の約2/3が隔膜法設備に転換され、第2次製法転換は1975年頃から研究を開始したイオン交換膜法の工業化を待って残り水銀法の転換を行い、わが国から水銀法が姿を消したのは1986年であった。

わが国で実用化されたイオン交換膜法電解技術は、水銀法並の製品品質、使用電力量の大幅な減少など、その技術の優位性によって、国内では隔膜法の再転換が行なわれた。海外でも広く採用され、世界の電解技術をリードしている。わが国は1999年にすべてのソーダ電解設備がイオン交換膜法になった。

わが国では、1985年頃から燃料電池の電極である「ガス拡散電極」を改良して食塩電解槽に用いる研究開発が続けられており、実用化直前まできている。これが工業化されると現在のイオン交換膜法のエネルギー使用量を、更に40%低減可能となる。この技術は海外でも行なわれているが、この分野でもわが国が先陣を切っている。

■ Abstract

The soda industry is a basic material industry, which uses salt as the main raw material, and produces caustic soda, chlorine, soda ash, etc. It has a long history and grew with the economic growth, eventually becoming an indispensable key industry in daily life.

Its manufacturing process can be roughly classified into the "Electrolytic method", which electrolyzes a sodium chloride solution and produces caustic soda, chlorine, etc., and the "Non-electrolytic method" such as the Leblanc process, ammonia soda process, etc., which reacts carbon dioxide and ammonia gas with the sodium chloride

solution to produce soda ash, etc. Initially, though the soda ash and the caustic soda were mainly obtained by the "Non-electrolytic method", the "Electrolytic method" gradually became the main process because of an increase in the demand for chlorine, etc., and more recently, most of them are produced by the "Electrolytic method".

In the following sections, the "Electrolytic method", which is the mainstream of the soda industry, a basic material industry, will be described.

The soda industry of our country started in the Meiji era. Because alkaline materials such as soda ash and caustic soda were in high demand in those days, the manufacturing process that was able to produce alkaline materials alone was the mainstream process, but the amount of production by the electrolytic process, which produces chlorine as a by-product, was low.

The electrolytic process, which produces chlorine as a by-product, was the focus of attention due to its simplicity in equipment design. However, there was no homegrown technology, and an attempt to import foreign technology could not be accomplished. The first electrolysis plant was operated at the beginning of the Taisho era by developing the "Nakano type" diaphragm process and the "Daiso type" mercury process, which were developed by independently making improvements in our country to overseas processes.

Afterwards, as for the mercury process, the "Krebs type" was licensed from Germany along with the "Daiso type", and these two processes became the technical bases of the mercury process in our country.

In 1958, after World War II, the petrochemical industry of our country started, and it significantly changed the industrial structure in the chemical industry field. The main demand for the soda industry changed from caustic soda, which is mainly used for manufacturing rayon, paper, pulp, etc., to chlorine, which is mainly used for manufacturing vinyl chloride, chlorinated solvents, etc. The soda industry rapidly expanded during this period of rapid industrial growth. The ratio of the mercury process increased due to the enlargement of the electrolytic cell, etc., and making high-quality products, then the technological advances in the mercury process became active.

The "Minamata disease", which occurred in Minamata, Kumamoto Prefecture, developed into mercury purge campaigns, and spilled over into the mercury process plant in which mercury was used. Following the administrative guidance, the mercury process was converted to the "diaphragm process", which is a "mercury-free process". However, almost all of the diaphragm process technologies were licensed from foreign countries.

The conversion of the manufacturing process was carried out for about ten years. During the first conversion of the manufacturing process, 2/3 of the mercury process plants were converted to diaphragm process plants. During the second conversion of the manufacturing process, the remaining mercury process plants were converted to the ion exchange membrane process after industrialization of the new process, which started around 1975. It was in 1986 when the mercury process completely disappeared from our country.

In our country, reconversion of the diaphragm process to the ion exchange membrane process, which came into practical use in our country, was carried out due to its technological advantages, such as high quality products equivalent to the mercury process, a significant reduction in electric energy consumption, etc. It has also been widely adopted abroad, and is the leading electrolytic technology around the world. In our country, all soda electrolysis plants had adopted the ion exchange membrane process by 1999.

In our country, research and development regarding applications of the "gas diffusion electrode", which is an electrode for the fuel cell, to the brine electrolytic cell has been continuing since about 1985. It is just now coming into practical use. When this new technology is industrialized, it will be possible to decrease the energy consumption of the current ion exchange membrane process by 40%. Though these kinds of R&D are also being carried out abroad, our country is at the leading edge of the technology in this field.

■ Contents

1. はじめに	3
2. 概要	4
3. 黎明期のソーダ電解	18
4. わが国ソーダ工業の基礎固め (戦後から昭和30年代)	26
5. 波乱と新しい息吹の時代(昭和40年代)	31
6. 公害問題と製法転換	36
7. イオン交換膜食塩電解槽の出現	39
8. 新しい息吹ガス拡散電極法食塩電解技術	45
9. 考察	47
10. まとめ	48
付録(資料)ソーダ関連技術登録候補一覧表	52

2 電子管技術の系統化調査

Development of electron tubes and tube technologies

岡本 正
Tadashi Okamoto

■ 要旨

17世紀後半に始まった電子管の研究は19世紀末から20世紀初頭にかけて放電管からX線管、ブラウン管、二極管、三極管など、急速に多様化した。電子管は固体デバイスに先立って先導的役割を果たし、今世紀の電子技術に最も貢献したデバイスのひとつとなった。すでに受信管やブラウン管に対するニーズはほぼ他のデバイスに移っているが、引き続き、X線管やマイクロ波管などの電子管が重要な技術貢献を果たすと見られる。

電子管の中で、極管、マイクロ波管など、電波の発生、増幅に関わる電子管は、放送、通信、レーダのニーズに応えるとともに、近年はマイクロ波エネルギー応用の分野のニーズにも応えて大きく発展を遂げている。本報告では、この分野のおよそ100年の盛衰の歴史をたどり、技術の系統的な発展経緯を調査する。

マグネトロンの高効率化、量産化技術、進行波管の高度化と世界に向けた市場展開、クライストロン、ジャイロトロンの大電力化への開発過程で生み出された日本の発明や技術とその蓄積は特筆すべきものがある。マグネトロンでは分割陽極の発明があり、これによってマグネトロンの高効率化が現実のものとなって、今日の発展の道が開けた。進行波管では、周期磁界集束の発明により小型軽量化が可能となり、発展の礎が築かれた。大電力クライストロンでは、1979年に将来の大型化を見通した投資が行われ、受電設備や超大型管を開発製造するための建物を含めた設備や装置の整備が進められ、大型管の真空度や出力窓に関する基盤的な技術向上がはかられた。一連の技術はジャイロトロンの開発にも引き継がれた。ジャイロロンでは、いち早く、モード変換器やミラー系を管内に取り入れ、コレクタ電位低下動作技術を採用して、大電力、高効率性能を一段と高めた。さらにダイヤモンド出力窓の有効性を実証し、2006年には国際熱核融合実験炉ITER計画の目標性能を達成した。

今後に予定される超大型計画では、これらの大電力管とその技術が重要な働きを担うことは明らかである。すでに世界的に、高い電子管の技術的地位を築いているが、今後も引き続き、そのポテンシャルを維持し、発展と貢献の道を歩むと期待したい。電子管の開発と製造は寡占化されていて、国際協力の中で、技術の維持、強化、発展を進める段階になってきていると思われる。

■ Abstract

Research and development on electron tubes diversified rapidly at the end of 19th and beginning of 20th centuries. Electron tubes were important components in electronics before the appearance and acceptance of solidstate devices. Electron tubes achieved their largest contribution to electronic technologies in the last century. Though the market for receiving and Braun tubes has disappeared because other devices have replaced these tubes, electron tubes such as X-ray tubes and high power microwave tubes are expected to continue being important components into the future.

Gridded tubes and microwave tubes, related to the oscillation and amplification of electro-magnetic waves, have responded to the needs of broadcasting, communications and radar systems. Further, in recent years, electron tubes have found applications in microwave energy.

There have been many important contributions made by Japanese researchers and engineers to the development of electron tubes. For example, the invention of the severed anode, which contributes to high operating efficiency, the mass-production technology for the magnetron, the invention of PPM focusing technology, the world-wide export of traveling-wave tubes for ground stations, and the excellent performance attained by high-power klystrons and gyrotrons, .

Japanese high-power klystrons, gyrotrons and their technologies already have been appreciated, which are now gaining attention from other countries.

It is expected that Japan will make more important international contributions in the future.

■ Contents

1. はじめに	55
2. 電子管事業の盛衰	56
3. 極管	60
4. マグネトロン	68
5. クライストロン	76
6. 進行波管	84
7. ジャイロトロン	92
8. まとめと系統化	99
9. むすび	106
登録資料候補一覧	111

3 発電用水車の技術発展の系統化調査

Historical Development of Hydraulic Turbines and Pump-turbines for Hydropower and Pumped Storage Power Plants

田中 宏
Hiroshi Tanaka

■ 要旨

わが国の電力事業は、1883(明治16)年に東京電燈(株)が設立され、1887年より電燈電力の供給が開始されたことに始まる。引き続いて、同年、名古屋や関西にも多くの電燈会社が相次いで設立されたが、これらの電燈会社は往復動蒸気機関などによる小規模の火力発電によっていた。

一方、京都府では1885(明治18)年から琵琶湖疏水工事を始めたが、その落差を利用して水力発電を行なうこととし、蹴上発電所を建設した。この発電所は1891(明治24)年に発電を開始したが、これがわが国の事業用水力発電の嚆矢である。

これ以後、三相交流発電機の実用化により大容量発電が可能となり、また高電圧長距離送電技術が実用化されて遠隔地の水力発電所からの送電が可能となって、水力発電所が多数建設されるようになった。電力需要の増大にとまない、数千kW級の水力発電所が次々と作られ、1912(明治45)年には水力発電容量が火力発電容量を超え、水主火従の時代に入った。しかしこれらの発電所で用いられた水車の多くは輸入品であり、国産水車は明治年間には最大出力500馬力、総出力8千馬力余に過ぎなかった。

大正年代に入り、1千kWを超える水車が国産できるようになった。1914~1918(大正3~7)年の第一次大戦中におけるドイツからの水車の輸入停止と国内景気の上昇により、国産水車が大量に製作されるようになった。1920(大正9)年からの経済恐慌や1923(大正12)年の関東大震災で一時水車の製造は停滞したものの、昭和年代に入ると工場動力や鉄道の電化などによる電力需要が急増し、次々と数千~1万kW級の大容量水車が作られるようになった。

昭和初期に、朝鮮半島の豊富な水力資源を利用して大々的に窒素肥料を生産する計画が持ち上がった。この計画は、北朝鮮と中国の国境を流れる鴨緑江の支流の長津江、赴戦江、虚川江の水を分水して日本海側に落とし、その落差を利用して12発電所、総出力約100万kWに及ぶ発電をしようという壮大な計画である。当時国内では1万数千kW程度の水車しか製作されていなかった時代に2万~4万kWの大容量水車を40台近く用いるという計画であった。この発電用機器に対し欧米メーカーからの売り込みは熾烈を極めたが、1発電所を除く11発電所、総計88万kW 35台の水車を国内メーカーが受注することに成功した。

これにより国内メーカーの大容量水車製造技術は大きく進歩した。その成果が1938(昭和13)年に発注された鴨緑江の水豊発電所向け水車である。この発電所は、当時、単機容量で世界最大であった米国ボルダーダムの85,000kW水車をしのぐ出力105,000kWの水車7台を擁するもので、水車の単機容量では世界最大の記録品である。この発電所は、1941(昭和16)年8月に無事1号機が運転を開始した。この水車と発電機は、わが国の重電機産業が初めて世界一の製品を作ったという意味で、特筆すべきものといえよう。

第二次大戦後、火力発電用の石炭が調達できなかったわが国は、まず水力開発による電力復興を計画し、1948(昭和23)年に電源開発5カ年計画を策定して翌1949年に38地点に及ぶ水力発電所の着工を許可した。これにより昭和20年代後半には7万~9.5万kWの大容量水車を用いた水力発電所が多数建設された。1952(昭和27)年には大規模電源開発を目的として電源開発(株)が設立され、同社から田子倉、奥只見、御母衣の各発電所向けの10万~13万7千kWの大容量水車が発注された。これらの水車は各々別メーカーに配分して発注されたが、これによってわが国水車産業の大容量水車製作技術は大きく進歩した。

国内の電源開発が一段落した1960(昭和35)年頃から、国内の水車メーカーはその余力を駆って水車の輸出に注力した。当時、為替レートが有利であったこともあって、多くの国に国内向けの水車を凌ぐ10万~30万kW級の水車が輸出された。ベネズエラ、インドネシア、トルコ、タスマニアなどでは、日本製の水車はその国の水力発電容量の半分以上を占めた。またこの時期、世界最大容量73万kWの水車や、現在世界最大といわれる中国三峡発電所

の水車にはほぼ匹敵するランナ径9.8mの巨大水車の主要部なども製作された。これらの製作経験を通して国内水車メーカーの設計・製造技術は長足の進歩を遂げた。

1960年頃からの火力発電の大容量化、1970年代に入ってから原子力発電の伸展により、日本の電源は応答速度の遅い硬直電源が増加してきた。そのため、1960年頃(昭和30年代後半)から即応性のある電源の不足が予測されるようになった。しかし即応電源である水力の開発地点が減少していたため、国内の電力会社は、河川流量に全く頼らないで上下の貯水池の水を上げ下げするだけで揚水と発電を繰り返す揚水発電所の建設を推進するようになった。

この揚水発電所は、落差が高いほど貯水池を小さくでき用地費などを低減できることから、高落差化が要請された。これを受けて国内では高落差ポンプ水車の技術開発が進み、1973年に運転を開始した沼原発電所以後、わが国においては世界に先駆けて落差500～700m、出力20～30万kW級の超高落差・大容量ポンプ水車が多数製作されるようになった。現在、この分野では、日本の技術が世界を大きくリードしている。

また1990年には、世界に先駆けて負荷変動への追従性が非常に優れた可変速揚水発電システムを開発し、以後、国内向けに多くの可変速揚水機器を製作した。この可変速揚水発電の分野でもわが国の技術は世界をリードしている。

本報告書は、以上の歴史的経過を踏まえ、電力業界からの要請や時代の変化に対応して発電用水車および揚水発電用ポンプ水車の技術が如何に発展してきたかを概観し、考察を加えたものである。

■ Abstract

The electric power industry in Japan commenced when the Tokyo Electric Light Co. (Tokyo Dento Kaisha) was established in 1883 and started power distribution services in 1887. In the same year, many other electric light companies were established in other parts of Japan, such as Nagoya and Kansai regions.

In 1885, the Kyoto Prefectural Government started the construction of the "Lake Biwa Canal" (Biwako Sosui) to conduct the water from the lake to the city of Kyoto. By utilizing the geodetic head of the canal, Keage Hydroelectric Power Station was constructed and it started to deliver electric power to the surrounding industries in 1891. It was the first hydroelectric power plant operated by a utility company.

After then, large capacity generation by using 3-phase AC generators and long distance power transmission by implementing high voltage technologies became available. These technologies enabled to utilize the electric power generated at remote hydropower plants. This encouraged the utilities to construct many large capacity hydropower plants to cope with the rapid increase of power demand. As a result, in 1912, the total output of hydropower plants in Japan exceeded that of thermal power plants. Since then, more than half of the power generation in Japan has been borne by hydropower until 1963 when thermal power became dominant once again. However, the hydraulic turbines installed in the then hydropower plants were mostly imported from Europe or the United States. The total output of the turbines manufactured by domestic manufacturers during the Meiji era (until 1912) was only about 8,000 HP with the maximum unit output being 500 HP.

In the Taisho era (1912–26), domestic industry became capable of manufacturing hydraulic turbines with a capacity exceeding 1,000kW. During World War I (1914–1918), domestic production of hydraulic turbines increased remarkably as a result of the embargo on the import of hydraulic turbines from Germany as well as the war boom. After the war though, the production temporarily stagnated as a result of the recession from 1920 and the Great Kanto Earthquake in 1923. However, it revived again after entering the Showa era (from 1926) owing to the remarkable increase in the demand for electric power resulting from the electrification of industry and railways, and many turbines with a large capacity up to about 10MW were turned out.

In the beginning of the Showa era (1926–), an ambitious project was proposed, which aimed to produce nitrogenous fertilizer by utilizing the electric power exploited from the abundant hydropower potential in the northern part of Korean Peninsula. It was a magnificent project to divert three tributaries of Yalu River at the border of North Korea and China to the Japan Sea and to construct 12 hydropower plants with total output of 1,000MW by utilizing the big geodetic head obtained by the diversion. It was planned to use about 40 units of large hydropower generating units with capacities ranging from 20 to 40 MW, although at the time only 10 to 15MW units could be manufactured by domestic manufacturers. A domestic manufacturer overcame tough competition from overseas manufacturers and successfully won most of the contracts for this project to supply 35 units for 11 power plants, 880MW in total.

By the experiences with these turbines, this manufacturer successfully won the contract for the turbines for Supung Power Station on the Yalu River in 1938. The power station was equipped with 7 units of 105MW turbines which were the then world largest machines in terms of unit capacity surpassing the 85MW turbines at Boulder Dam in the United States. However, since international relationships were strained already at that time and the economic sanctions against Japan were being tightened, the manufacturer had difficulty in procuring the steel material. However, in spite of such adversity, the first unit was successfully commissioned in August 1941 owing to the great effort of all involved in the project. As this was the first machine to break a world record ever produced by the Japanese heavy electrical machinery industry, it should be noted as a significant milestone in the overall development of the industry.

After World War II, the Japanese government planned to restore the electric power generation by constructing hydropower stations since it could not afford to procure necessary coal for thermal power generation. The government issued a 5-year program to accelerate electric power development and, in 1949, licensed the utilities to construct 38 hydropower stations. These power stations equipped with 70–95MW hydropower generating units were successively commissioned in the 1950's and contributed to the reconstruction of the Japanese industry after the war.

In 1952, Electric Power Development Co. was established, which was a government subsidized company aiming to develop large hydropower projects, and it constructed many large capacity hydropower plants in 1950's. The contracts for these turbines were placed on domestic manufacturers to enhance their technologies.

As the development of domestic large hydropower stations was mostly completed before 1960, domestic turbine manufacturers directed their business toward overseas market. Since the currency exchange rate at that time was favored exporting, Japanese products, many large capacity turbines with capacities of 100–300MW, exceeding by far the capacities of those in use at domestic power plants, were exported to various countries. Especially, in Venezuela, Indonesia, Turkey and Tasmania, more than half of the total capacity of their hydropower came from turbines exported from Japan. They included the turbines that had not only the largest capacity in the world at that time but also the largest turbines in size with runner diameters of 9.8m. By manufacturing units such as these, Japanese manufacturers were able to both build their experiences and to strengthen their design and production capabilities.

Due to the increase of both large capacity thermal and nuclear power plants since the 1960's, electric power generation in Japan became inflexible as they were unable to change their output rapidly. Then it was feared that this would cause difficulty in following the rapid fluctuation of power demand in the network and it might cause a serious problem such as frequency fluctuation or black out. Although it was obvious that hydropower generation would be the most effective measure to enhance the flexibility of power generation, it could not be a viable option because most of the hydropower potential had been already exploited until then. Then Japanese utilities considered the merit of using pumped storage to solve this problem, as it could be operated as flexibly as conventional hydropower without depending on the natural inflow to the reservoirs.

Since the construction cost of pumped storage power plants can be reduced if their operating head is higher, the operating head of reversible pump-turbines installed in these plants is required to be as high as possible. To meet with this need, turbine manufacturers in Japan conducted intensive R&D studies to develop high head pump-turbines. The first pump-turbines in the world that operated under a head in excess of 500m were those installed at Numappara Pumped Storage Power Plant, which were commissioned in 1973. Since then, many 500 – 700m head pump-turbines with a capacity of 200 – 300MW have been manufactured in Japan and put into operation. Now, Japanese technologies in this field lead those of the rest of the world.

Also, in 1990, the first adjustable speed pumped storage unit in the world was put into commercial operation in Japan. Since then, owing to their excellent load following capability, many adjustable speed pumped storage units have been manufactured in Japan and put into service. The technologies concerning the adjustable speed system are also technically superior to those of the rest of the world.

In this report, the author has reviewed the historical development of hydraulic turbine and pump-turbine technologies in Japan and considered how these technologies have been developed to meet the changing needs of the power industry and of society.

■ Contents

1.はじめに	119
2.初期の水車と現在の水車	120
3.明治時代の水力発電黎明期の水車	125
4.大正年間における大容量化と技術の発展	128
5.戦前の昭和年代における新技術と大容量水車	132
6.第二次大戦後の復興期における水力開発と水車	136
7.揚水発電用ポンプ水車の開発と急速な大容量化	141
8.輸出用大容量水車と製造技術の発達	147
9.海外へ輸出した記録品	153
10.コンピュータ導入による技術の高度化	156
11.世界をリードする超高落差ポンプ水車の開発	161
12.揚水発電に関する新技術	166
13.考察	172
14.まとめ	174
謝辞	175
付録 参考文献	176
付録 発電用水車の技術の変遷(年表)	177
付録 平成18年度資料登録候補一覧表	180

4 船用大形2サイクル低速ディーゼル機関の技術系統化調査

Historical Development of Two Stroke Slow Speed Marine Diesel Engine

田山 経二郎
Keijiro Tayama

■ 要旨

船舶は、これまで長期にわたり、効率的に大量に物を運ぶ手段として人間の社会生活に貢献してきた。船舶の推進力としては、古い時代の櫂による人力、帆船時代の風力など初期には人や自然の力を利用してきた。その後時代が進むにつれて、蒸気利用の時代が長く続いた。1897(明治30)年にルドルフ・ディーゼル博士によりディーゼル機関初号機が完成され、1900年代に入りディーゼル機関が実用の時代になると、船舶用の推進機関にも使用され始めた。しかしながら、当時の主流船用推進プラントは、まだまだ蒸気往復動機関や蒸気タービン機関で、本格的にディーゼル機関が船舶用の原動機として使用され始めたのは、第二次世界大戦後である。

特に、1973(昭和48)年と1978(昭和53)年の二度にわたる石油危機をきっかけに、蒸気タービン機関と比較して圧倒的に燃料消費率が優れているディーゼル機関の採用が本格的に進んだ。一時期、船の長い寿命を考慮して、すでに蒸気タービンプラントを有する船齢の若い船舶を、ディーゼル機関に換装するケースもかなりの数に上った。

船舶に使用されるディーゼル機関の大きな特徴は、多くの場合、石油精製過程でガソリンなどの軽質油を採った後の、いわゆる残渣油を燃料油として使用していることである。この種の燃料は、安価でしかも世界的にどの港でも入手可能であると言う、船舶の燃料として必要な条件を満たしていた。残渣燃料油を使用するためには、燃焼の絶対時間が長く、かつ、燃焼室とクランク室が分離されている低速クロスヘッド機関が有利であり、現在に至るまで外航船の凡そ80%程度は2サイクル低速クロスヘッド機関が使用されて来ている。しかしながら、現在は、高硫黄燃料の使用、熱効率は優れているがその弊害として非常に高いNO_x排出率などの点で、環境問題という大きな試練に直面している。今後克服しなければならない課題である。

わが国においては、第二次世界大戦後、造船業がいち早く復興し、現在に至るまで世界市場の30~50%を占めて来ている。これらの国内造船市場がディーゼル機関のベースロードとなって、ディーゼル機関の発展を支えてきた。国内のディーゼル機関メーカーは、1920年代後半(大正~昭和)にはいち早く世界の有力なライセンサである、MAN、Sulzer、B&Wの各社と技術提携し、ライセンス生産を開始し現在に至っている。一方、三菱重工業は、戦前から独自に開発したMS機関を生産していたが、戦後間もない1955(昭和30)年に、オリジナル設計の三菱UE機関を開発し、世に出した。

本調査では、対象を、“船用大形2サイクル低速ディーゼル機関”に絞り、かつ時期的には、技術的に大きな進展を見せた、戦後の時代に絞りその技術の発展を系統的に調査した。

発展の過程を大きく次の4つの時代に分類しその時々々の主要な技術を記述している。

- 1 黎明期(1897~1945年:明治30~昭和20年)
- 2 出力向上の時代(1945~1975年:昭和20~昭和50年)
- 3 熱効率向上の時代(1975~1985年:昭和50~昭和60年)
- 4 信頼性向上と出力範囲拡大の時代(1985~1995年:昭和60~平成7年)
- 5 環境対応の時代(1995年~現在まで:平成7年~現在まで)

調査は、わが国のオリジナル設計である三菱UE機関を軸に進めるが、ライセンスとして、従来のライセンスの枠を超え、その発展に大きな役割を果たしてきた国内ライセンス各社の技術的貢献も調査した。

巻末付録1に、船舶の推進機関の主要変遷と熱効率(燃料消費率)の改善経過をディーゼル機関発展の時代区分図として示した。さらに付録2に、具体的な適用技術、開発機種の変遷、成果に対しては、きっかけとなった主要な社会的動きと共にディーゼル機関主要技術系統図として示した。

■ Abstract

Ships have contributed to our social activity for many years as the most effective mass transportation system. In ancient days, the man powered paddles and the wind powered sails were used as prime movers for ship propulsion. After this age, the steam reciprocating engines and the steam turbines were widely used as ship propulsion engines for many years.

In 1897 Dr. Rudolf Diesel invented the idea of the diesel engine and after this age the diesel engine gradually came to the one option for ship propulsion engines. But until the age of roughly 1950, the diesel engines were not the major player of this field.

In 1973 and 1978, we experienced the serious oil crises twice. This events forced ship-owners to consider more fuel efficient ship propulsion engines and recognized the superiority of the diesel engines. Some ship-owners, who have recently delivered rather new ships, even replaced existing steam turbine to diesel engines considering future fuel cost.

One of the most important points for the marine diesel engines is to use what we call residual fuel oil which is the bottom products of oil refinery. These fuels fulfill the most important conditions for marine fuel, availability in the worldwide bases and the lower price level. To use such fuel, the slow speed crosshead type diesel engines are favorable because of the following two reasons. One is that the slow speed engines have enough time for combustion and the other is that the crosshead engines have separated combustion chamber from the crank room. Up to now, about 80% of ocean going vessels apply the slow-speed crosshead type engines for their propulsion engines. However, these engines are now facing serious harmful emission problems such as use of high sulphur fuel and high NOx emission which has trade-off relation with better fuel consumption. The diesel engine should clear these matters to survive in the future.

In Japan, the shipbuilding industry has recovered soon after the Second World War. Up to now, Japanese shipbuilding industry keeps the world market share of 30% to 50%. This steady demand to the marine propulsion engines makes the driving force to the engine industries of Japan.

The most of the engine manufacturers contracted the license agreement between major European designs, such as MAN, Sulzer and B&W and start manufacturing these engines under license agreement. Mitsubishi had the original marine diesel engine design named MS engine from the early 1930. Under this back ground, after the Second World War only Mitsubishi in Japan developed the original 2 stroke slow-speed crosshead UE engines in 1954 and entered to this market again.

This report mainly concentrated the research on the 2 stroke slow-speed marine diesel engines and on the technical development after the Second World War which made significant progress and improvements. The whole period was divided into following five major time period.

- 1 The dawning of diesel engine (1897~1945)
- 2 The age of increasing engine power (1945~1975)
- 3 The age of thermal efficiency (1975~1985)
- 4 The age of reliability and expanding power range (1985~1995)
- 5 The age of environment (1995~)

The description was made mainly along with the Japanese original engine technologies, but at the same time report about the major activity made by Japanese licensees who made the great support to the licensors.

■ Contents

1. はじめに	185
2. 市場の動向と技術開発全体の流れ	186
3. 開発された主要技術の変遷	187
4. 進歩を支えた主要部品と周辺技術	215
5. 運転実績からの教訓	228
6. 考察と提言	233
謝辞	234
付録	236