

# 1 材料試験硬さ技術の系統化調査

## Historical Development of Material Hardness Testing Technologies

小賀 正樹  
Masaki Koga

### ■ 要旨

硬さは種々の機械特性と相関関係があることから、硬さ試験による材料評価は新たな材料開発や機器構成部材の性能、コスト、信頼性等を考慮した“着実なものづくり”を行う上で必須の基本技術として、ひいては我国工業製品の材料強度信頼性を陰で支える重要な工業技術（製造工程での品質管理や商取引・受入れ検査の手段）として発達してきた。本調査研究ではこの“材料試験硬さ技術”について、① 硬さ研究と試験法考案、② 試験方法・試験機・基準片の開発とその変遷、③ これらを支える周辺技術、④ JIS 規格化と国際標準化、の観点から調査結果を纏めた。

材料の硬さ試験においては、圧子やハンマーで静的または動的に変形を与え、材料が示す塑性流動過程の抵抗度合いを測定し、硬軟の序列数を決めているが、今日までに考案された硬さ試験機の種類はきわめて多く、それぞれの試験法により特有な硬さ値となっている。ここでは調査対象の試験機を、現在産業界で多用されている JIS 規定の 4 種類の試験機、つまり、ブリネル、ショア、ロックウェル、ビッカース（含 .ヌープ）の各硬さ試験機、とその延長上で産業界の更なるニーズに対応すべく進化を遂げつつある高温硬さ試験機、携帯型硬さ試験機、超微小硬さ試験機、基準片に付せられる硬さ基準値を得るための“基準硬さ試験機”に限定した。また、その関連技術として、工具メーカーが製作分担するダイヤモンド圧子や基準片の開発と変遷についても併せ調査した。

ものづくりの世界では硬さ試験は縁の下の力持ち的存在ではあるが、産学官の関係者に共通し、かつ、一貫したものとして、“着実なものづくり”への熱い思いと日本人由来の生真面目さ（硬さ研究と試験機開発への真摯な取組み）が長年の学協会・研究会活動で伝統的に培われてきた。これらが原動力となって第 2 次大戦後の産業復興以降、我国の硬さ試験機メーカーは従来の海外オリジナルメーカー製品の模倣から脱皮して独自の製品開発に邁進し、今日では世界をリードするまでになった。その顕著な成果は、微小硬さ（マイクロビッカース）試験機とその延長上にある超微小硬さ（ナノインデンテーション）試験機の変遷にみられる。オリジナル機では 100% 機械式であった硬さ試験機も今では負荷機構に電気駆動方式をまた計測機構・データ処理部に各種センサーや電子デバイスを採用した電気・電子機器に様変わりし、試験荷重に関しても、最大負荷 3000kgf のブリネル硬さ試験機に対し最小負荷が mgf オーダーの超微小硬さ試験機が出現する時代となった。これを可能にした背景には、① 産学、産官連携による試験機開発や試験機メーカー間の切磋琢磨による創意工夫（負荷・計測機構の考案）とその知的財産化（特許、実用新案による権益確保）、② 国内素材メーカーの優れた材料製造技術と町工場が保有する高レベルの機械加工技術、熱処理技術、③ 世界をリードする我国のセンサー技術（荷重・変位計測に適用）や画像処理技術（圧痕形状計測に適用）等の基盤技術、④ 顧客（材料・機器の研究開発やものづくり現場）からのより高度な硬さ試験へのニーズがあった。また、戦後の産業復興期にいち早く発足した“硬さ基準片製作標準作成委員会”や“カタサ研究会ロールカタサ研究部会”の活動に代表されるように、学協会の研究会・講習会活動等で産学官が連携して硬さ試験による品質管理手法を産業界に普及・定着させた功績もきわめて大きい。

これらを鑑みると、今後材料試験硬さ技術を更に発展させるためにやるべきこととして、① 世代間での硬さ測定技術の着実な継承、② 硬さ試験機の測定精度向上とその計測自動化、③ 硬さ試験適用分野の拡大、④ 国際標準化活動の推進、⑤ 硬さ現象の本質的な解明（普遍的に認められる“硬さ”の定義確立）等がある。試験・評価技術や試験機開発と併せ、JIS・ISO 等の新規格を積極的に提案、承認・実施に至れば、我国工業製品の強度安全性や国際競争力の向上にも大きく寄与する。産業グローバル化の観点からは、各種部品・部材の検査に用いられる硬さ試験機や基準片のトレーサビリティも重要性が増すであろう。また、適用分野拡大では、今後も引張、疲労、クリープ、摩耗、ばね限界値、焼入性、溶接性等に関連する硬さ測定データの充実を図り、産業界からの新たなニーズに対応していくことが強く望まれる。

## ■ Abstract

Material evaluation due to the hardness test has progressed as an indispensable basic technique to do steady manufacture, considered the performance, cost and reliability of a raw material or a component of equipment, because the hardness of material correlates with its various mechanical properties. And so, it has been recognized as an important industrial technology (means of the quality control in manufacturing process, the transaction or the acceptance inspection) to support behind the material strength reliability of an industrial product manufactured in our country. In this research on the material hardness testing technologies, the results were settled from the four view points, i.e. ① study of the hardness and invention of the testing method, ② development and transition on the testing methods, testers and standard blocks, ③ supporting technologies and ④ JIS and international standardizations.

On the hardness test, static or dynamic deformation is caused in the measured material by adding a load through an indenter or a hammer, and a hardness value is ranked by its resistant degree against permanent flow. A great many kinds of hardness testers have been invented up to the present and their calculated hardness values differ from each other, resulting from the difference of their definitions. In this investigation, the object of hardness testers were limited to four kinds of testers standardized by JIS, i.e. Brinell, Shore, Rockwell and Vickers testers, and their prolonged testers to meet still more industrial needs, i.e. high temperature hardness tester, portable hardness tester, nano indentation hardness tester and "Basic Hardness Tester" evaluating the numerical hardness value of a standard block. As related technologies, the development and transition of diamond indenters and standard blocks, being made by tool makers, were also investigated.

Through a longtime activities at the relevant association or workshop, hardness participators, formed by industrial-academic-governmental cooperation, have cultivated traditionally a strong thought to "faithful manufacturing" as well as the sincere approach to hardness research and tester development with particular seriousness originated Japanese. Taking opportunity of industrial recovery after the Second World War, these became moving force to go forward independent development for hardness tester makers in our country, gotten rid of the copy from a past overseas original tester, and so, the Japanese hardness tester has become to lead the world today. Such fruits are seen in the transition of micro hardness (micro Vickers) tester and ultra micro hardness (nano indentation) tester. Nowadays, a hardness tester has replaced completely to an electric equipment, adapted an electric driving force as loading mechanics, various sensors as measuring mechanics and electronic devices as data processing, though the mechanics of each original hardness tester was all machinery. And the testing load of 1mgf order at a minimum has come into existence in nano indentation tester, differing with 3000kgf at a maximum in Brinell tester. For the background to enable these matters in our country, there were some excellent basic technologies in circumstance as follows, as well as the effort of parties concerned. ① development of the tester due to cooperation industrial-academic or industrial-governmental and creative ideas, studied hard by competing with each other among tester makers, and the security of these interests due to the intellectual property right, ② high qualitative material supplied by manufacturer possessing its distinguished producing technology, and excellent techniques of machining and heat treatment held by small factory, ③ technologies of sensor and image processing, leading the world, ④ advanced needs from user (the fields of development or operation in manufacture). As typified activities for the hardness standardization at an early stage of industrial recovery after the war, the workshop and the training course, practiced by association periodically under industrial-academic-governmental cooperation, have contributed greatly to spread the quality control due to hardness test in the industrial world.

In consideration for these investigation results, the author suggests several items as follows for further development on a hardness tester in future. ① steady succession of the hardness testing technique from a skillful engineer to a young engineer, ② improvement of measurement accuracy and automatic operation system of the hardness tester, ③ spread of applied field on the hardness test, ④ newly proposal of an international standard draft and its promotion to standardization, ⑤ essential elucidation of the hardness mechanism, i.e. establishment of an universal definition on the hardness.

## ■ Contents

1. はじめに	3
2. 硬さ研究のあゆみ	4
3. 我国における硬さ研究活動	8
4. 日本工業規格 (JIS) にみる硬さ試験	11
5. 硬さ試験機の開発、技術の変遷	18
6. 硬さ試験機の高性能化を支える周辺技術	51
7. 硬さ基準片の開発、技術の変遷	56
8. ものづくり現場における硬さ試験の利用	62
9. 硬さ試験の国際標準化	66
10. むすび	70

# 2 エスカレーター技術発展の系統化調査

Historical Development of Escalator Technology

後藤 茂  
Shigeru Goto

## ■ 要旨

エスカレーターの原理的アイデアは 1850 年代の米国で誕生し、実用機の原型は 1900 年のパリ万国博に展示されたのが始まりとされる。欧米での揺籃期を経て、1914 年（大正 3）に米国から輸入された製品がわが国の 1 号機であった。

その後、国産化も開始されたが、戦時の中断もあり本格的な技術発展はエスカレーターの需要が拡大し始めた戦後の復興期からであった。

エスカレーターの外観を一新した欄干意匠の全面照明化、透明化は、戦後復興期の経済発展を背景とした顧客ニーズに応じて、日本メーカーが世界に先駆けて実用化した技術であり、世界のエスカレーターの技術開発に一つの方向を示すものとなった。

その後の高度成長期を経て商業施設・交通機関の駅等を中心に急激な量の拡大をみたが、1973 年の石油ショックを契機に、社会環境と社会ニーズは転換点を迎えた。

先ず、この年代から省エネルギーが社会の大きなテーマとして台頭した。さらに 1980 年代に入り、高度成長期の機能本位主義の反作用として個性の追求や価値観の多様化に象徴される社会トレンドが顕在化し始めた。さらに 1980 年代の後半以降、福祉社会の実現を目指したバリアフリー化が促進され各種の法整備も行われた。マイコン制御やインバーター制御等、電子化技術が活発に応用され始めたのもこの時期である。メーカー各社はこうした時代の変化や技術の進歩に対応し、省エネルギー形、らせん形、車いす利用形、超高揚程形、超省スペース形など各種の新機能・新機種開発を手掛けてきた。

一方、ドアがなく可動部が露出というエスカレーター特有の構造に伴う安全性の確保・向上はいわばエスカレーターの宿命的課題であった。メーカー各社は安全性のレベル向上を目指して開発を継続し、日本メーカー特有の安全性向上策をいくつか具体化してきた。

戦後復興期、高度成長期を経て、20 世紀終盤には日本のエスカレーター市場は世界でも No.1 の地位を占めるに至った。国内の各種社会ニーズ、顧客ニーズに柔軟に対応できた背景には、こうしたわが国の大きな市場が支えとなってきた。その結果、技術面で世界をリードするレベルに到達し、いくつかの世界初の製品を送り出している。

わが国エスカレーターの技術発展を支えた主な要因を総括すれば、先ず大きな国内市場の存在があり、それを背景とした社会ニーズへの積極的な対応、安全性向上へのたゆまぬ技術開発、さらにメーカー間の熾烈な開発競争の 4 点が挙げられる。

しかし、今世紀に入りこの要因に変化の兆候が現れている。国内需要が低下傾向にあることに加え、急激な拡大を示す中国市場での欧米メーカーの躍進により、世界市場における日本メーカーの位置の低下が顕著になっている。中長期の展望に立ち、さらなる発展を目指して、今まで以上に世界市場を視野に入れた技術開発に取り組んでいく必要がある。

## ■ Abstract

Although the basic idea of the escalator appeared in the 1850s in the USA, it wasn't until the 1900 Paris Exposition that a prototype for a commercial model was first exhibited. After the initial development in the West, an escalator imported from the USA was the first to appear in Japan, in 1914.

Domestic production started after that, but it was interrupted during the war so the real expansion in the technology occurred from the post-war recovery period when the demand for escalators started to grow.

The full illumination and transparency of the balustrade designs, which completely revised the appearance of escalators, are technologies that were made practical by Japanese manufacturers as world pioneers, in answer to customer needs against the background of the economic expansion of the post-war

recovery period. This became one direction of development of escalator technology in the world.

During the subsequent high-growth period, a rapid expansion was seen centered on commercial establishments and the stations of public transportation, but the social climate and social needs led to a turning point at the oil crisis of 1973.

First of all, energy conservation emerged as a huge social concern from that period. In addition, at the start of the 1980s, social trends that symbolized wide ranges of personal pursuits and values began to become obvious as a reaction to functionalistic principles. From the late 1980s onward, various legislations were enacted to promote a "barrier-free" society with the aim of implementing a welfare society. This was a period during which computerization such as microcomputer control and inverter control began to be actively applied. The manufacturers responded to these changes in the times and progress in technology by becoming involved in the development of new functions and new models, such as low-energy escalators, spiral escalators, wheelchair-use escalators, super high-rise escalators, and space-saving escalators.

At the same time, ensuring and improving safety concerns posed by the characteristic structure of escalators, where there are no doors and the moving parts are exposed, became something of a vital challenge. The manufacturers continued developing products with the aim of improving the level of safety, and a number of safety improvements specific to Japanese manufacturers have been put into practice.

After the post-war recovery period and high-growth period, Japan's escalator market achieved the No. 1 position in the world toward the end of the 20th Century. Thus Japan's large market provided great support against a background capable of responding flexibly to various social needs and customer needs within Japan. As a result, they reached a level at which they lead the world from the technological viewpoint and brought out a number of products that were the first in the world.

If we look at the main factors that fueled the technological expansion of Japanese escalators, we can see four points: First is the existence of a large domestic market, then there is active response to social needs against that background, unceasing technology developments towards safety improvements, and finally there is the cutthroat competition between manufacturers.

However, as we entered this century, symptoms of change were seen in those factors. In addition to a downward trend in domestic demand, there has been a prominent fall in the position of Japanese manufacturers in the world marketplace, due to a surge of Western manufacturers toward the Chinese market which is expanding rapidly. Looking at the medium to long term, it may be necessary to aim at even further expansion and tackle technology developments from a perspective that concentrates on the world market even more than before.

## ■ Contents

1. はじめに	73
2. エスカレーターの誕生	74
3. 国内への導入と国産メーカーの誕生	80
4. 戦後の復興と普及発展期(1945～1970年)	89
5. 多様な需要と機種開発(1970年～)	97
6. 安全性の確保・向上	114
7. 動く歩道の変遷	124
8. 考察	128
9. あとがき	134

# 3 酵素の生産と利用技術の系統化

Systematic Survey of the Technical Development for Production and Application of Enzyme

中森 茂  
Shigeru Nakamori

## ■ 要旨

わが国における酵素技術、つまり酵素の生産と利用技術の系統化調査を行った。

酵素は動植物から微生物まで、あらゆる生物がもつタンパク質を主成分とする生体触媒である。生物の生命活動は生体内の化学反応によって営まれているが、これらの化学反応を正確、かつ円滑に進行させる触媒が酵素である。酵素の特徴は常温常圧の穏やかな条件下で反応を進めること、酵素は生体から取り出し、この反応を試験管の中で再現できること、酵素には基質特異性があり、基質（原料素材）を厳密に選択すること、熱などの過酷な条件下では失活すること、などである。

酵素の実体が明らかにされたのは19世紀後半のことであるが、酵素の実体を知ることのなかった古来より、人間は酵素をいろいろの形で有効に活用してきた。チーズの製造や酒類の発酵などである。日本は温暖湿潤なモンスーン地帯に位置し、そこでは米作が行われ、大豆が生産され、カビがよく生育し、醸造技術が発達し、米や大豆を原料として清酒、味噌、醤油などが生産された。醸造技術は微生物を活用する技術であり、酵素技術でもある。そのような酵素や微生物技術が発達した土壌の上に、近代の欧米で生まれた微生物学や分子生物学の知見や情報がいち早く導入され、日本独特のアミノ酸や核酸発酵技術が生まれ、酵素や抗生物質の生産技術が発達して、日本は今やこの分野では世界のリーダーの一つに数えられるようになった。

日本の酵素産業には酵素そのものを製品として扱う企業と、酵素を手段として製品の製造に活用する企業がある。日本の酵素産業はアミラーゼの生産からスタートし、その後糖質関連、タンパク質分解など、多彩な製品を生み出し、また日本独特の特徴のある酵素を多数生みだしてきた。酵素の市場規模は世界で4—5千億円程度と言われる比較的小さなものであるが、酵素による生産物の規模は莫大なものがある。

わが国の酵素類の輸出入額を見ると、1960年代から2000年までは輸入超過の状態が続いていたが、2000年を境に輸出超過に変わった。このことは我が国の酵素生産と利用技術が近年大きく進展していることを示している。酵素をアミノ酸や核酸などの最終製品の生産手段として活用している企業では酵素を生産する微生物を酵素源として販売しているわけではないが、製品については特徴のある環境調和型のプロセスをもって、有利な競争力を展開しているケースが多い。

現在活用されている酵素の大部分は微生物に由来する。特に今後新しい酵素の開発は新しい微生物に期待されるし、また動植物由来のものも、組換えDNA技術の進展により微生物による生産が可能となった。したがって、ほぼすべての酵素生産は微生物によるものを中心となると考えられるため、酵素の生産技術の流れはつぎの3項にまとめることができる。

- ① 生産菌株のスクリーニング→生産菌株の改良→大量培養
- ② 培養液からの酵素の単離・精製
- ③ 培養と単離・精製工程のエンジニアリング

生産菌株のスクリーニングは新規な酵素の開発のために最も重要な技術である。生産株の改良については、突然変異、組換えDNA、タンパク質工学などの技術が多面的に活用されている。酵素の単離・精製は溶媒沈澱、塩析、等電点沈澱や、各種のクロマトグラフィーが活用されている。

一方、酵素の利用技術については、酵素標品が粉末状の場合には扱いやすさや、粉末の飛散を防止するために顆粒化技術が、また酵素と生産物との分離が必要な場合には固定化技術が要求される。そのほか、例は多くはないが、医療用に使用される酵素で異種の生物に由来するものでは免疫反応のために使用が制限される場合がある。このため免疫反応の防止のためにポリエチレングリコールなどによる処理が行われている。

このようにして、わが国ではほとんどのアイテムの酵素は品揃えされている状況にあるが、本報告では、デンプンおよび糖質関連、タンパク質関連、アミノ酸関連など、現在市販されている、あるいは工業化されている酵素について、生産株、用途、酵素反応式等について記述した。

今後の酵素技術に期待されるのは有用物質の合成、廃棄物や難分解性物質の分解、物質の分析など、甚だ広く大きい可能性が考えられるが、それらのテーマは世界的な課題とされる「健康と生命」、「資源とエネルギー」、「地球環境」、これらの保全と確保が中心となるであろう。省エネルギーと地球環境にやさしいバイオテクノロジーと酵素技術に寄せられる期待は大きいものがある。すでに多くの実績を積み上げてきたわが国の技術をもって、それらに応えるには、さらに新しい機能をもつ酵素の開発が必須である。現在より一層の密な産学共同体の中からも開発を進めることが重要と思われる。

## ■ Abstract

Current state of enzyme technology, including techniques for the production and application of enzyme, was systematically surveyed.

Enzymes are living catalysts, namely biocatalyst possessed by all living organisms, from one-celled organisms to multi-cellular animals and plants. Almost all the activities of life within living bodies are maintained by chemical reactions. Enzymes catalyze these reactions precisely and smoothly. There are several characteristics of enzymes necessary for understanding enzyme technology : (a) they catalyze chemical reactions under mild conditions, namely at room temperature, neutral pH, and mild pressure, (b) they can be isolated from living bodies and be tested in test tubes, (c) they have substrate specificities and select the substrates strictly, (d) they have instability and lose activity in harsh conditions such as at high temperatures, (e) and so on.

Humans have used enzymes effectively since prehistoric times without any specific knowledge about enzymes. It was in the late 19th century that understanding of the basic workings of enzymes was achieved.

In Japan, which is located in a monsoon-prone area of eastern Asia with high temperatures and high humidity, molds as well as cereals such as rice and soybeans can grow well. As a result, various brewed products, such as Japanese sake, soybean paste (miso) , and soy-sauce were able to be manufactured using these materials. Thus, applications of enzyme technology and microbiology, namely, brewing techniques, have been developed especially in our country.

These traditional Japanese techniques were combined with modern scientific and technical information about microbiology and molecular biology, especially related to antibiotic production techniques, developed in Europe and America. Various unique fermentation techniques have been established after World War II in Japan, such as fermentative production of amino acids, nucleotides, enzymes, antibiotics, and so on. This led to Japan becoming one of the current leaders of enzyme and fermentation technology in the world.

The Japanese enzyme industry consists of two types of companies: those that supply enzymes, and those that produce various products made with enzyme technologies.

The start of the Japanese enzyme industry was the production of amylase for the removal of paste, which was used for processing fibers. Thereafter, various enzymes such as those for sugar processing, hydrolysis of proteins, and so on, have been developed by original Japanese techniques.

The value of the world's enzyme supply in 2000 was estimated to be ¥4,200 billion, of which Japan occupied one-tenth, or about ¥400 billion. From 1970-1990, the amount of enzyme imported Japan exceeded the amount exported. However, the exports have exceeded imports since 1998. From this fact, we can see that Japanese enzyme techniques are progressing faster than those of other countries.

As most enzymes

originate from microbial sources, the flow of the production techniques of enzyme can be summarized by the following three,

- 1) Screening of producing strains → improvement of producing strains → large scale cultivation → production of enzymes in culture liquid
- 2) Isolation and purification of enzymes from culture liquid
- 3) Plant engineering for large scale cultivation and isolation as well as purification.

Mutations, recombinant DNA techniques, and protein engineering techniques have been applied to improve enzyme producing strains. Improved strains are introduced into large scale cultivations. Techniques to isolate enzymes from culture liquid include precipitation of enzymes by solvents, salting out, and by adjusting pH to isoelectric points.

In order to purify enzymes, impurities of low molecular weight are removed by dialysis and membrane techniques such as ultra filtration. And further, enzymes are purified by the application of various types of chromatography.

Enzyme granulation and immobilization techniques have improved enzymes use. Granulated enzymes were devised for the prevention of allergic accidents, which were caused by the scattering of powder enzymes among workers and consumers when powder enzymes were produced and used for detergent in 1960s. The immobilized enzymes were developed when enzymes were expensive, and separation of enzymes from substrates and products was necessary for repeated uses. Immobilized enzymes or enzyme-containing cells were mainly applied for the

production of useful materials, such as amino acids and nucleotides.

Almost all of these enzymes and related materials are available in Japan.

This report outlines producer strains, culture conditions for production, enzymatic reaction formulas, uses, and so on, of enzymes, which are sold on the market or are used in practical production, were described.

Environmentally friendly biotechnology and enzyme technology are expected to play a significant role in the security and preservation of life and health, resources and energy, and the environment—all topics of global concern today. To fulfill these expectations, discovery and development of novel enzymes will be essential. Further co-operation with universities and companies would bring fruitful and useful results.

## ■ Contents

1. はじめに	141
2. 酵素について—酵素の機能と特性—	142
3. 酵素の産業利用の歴史	144
4. 日本の酵素産業の歴史とその特徴	146
5. 酵素市場	148
6. 酵素の生産に関する要素技術の進歩 / 生産菌株の育種、大量培養、酵素の単離精製、 製造装置とプロセス管理	149
7. 酵素の利用に関する要素技術 / 酵素の固定化技術、酵素の顆粒化技術	153
8. 酵素の生産と利用（各論）	155
9. 酵素の生産と利用技術の系統化図	180
10. 今後の酵素技術の課題と展開	182
11. 謝辞	183



# 4 自動車用液圧ブレーキ技術の系統化調査

A systematic survey of the technical development of hydraulic brake systems for road vehicles

林田 吉弘  
Yoshihiro Hayashida

## ■ 要旨

1886年に登場した最初のガソリンエンジン搭載車、ベンツ「モトールヴァーゲン (Motorwagen)」はパワートレインに設けたバンドブレーキ(外部縮小式ブレーキ)であった。1904年に発売された後継車の4輪車のベンツ・フェロ (Benz Vero) は、後輪に外部からシューを押しつけるシューブレーキに戻っている。1900年前後はこのようなシューブレーキが普通であったが、車の速度や質量が増してくると、そのようなプリミティブなブレーキでは車を制御するのは不可能となってくるのは当然であった。1900年前後には、効きの良い外部収縮式ドラムブレーキを後輪に搭載するようになっていった。しかし外部収縮式ブレーキの持つ、ライニングが摩耗しやすいこと、ブレーキ力のアンバランスを生じ易いこと、常用ブレーキと駐車ブレーキの両用が困難などの問題点が明らかになり、次第に内部拡張式ドラムブレーキに取って代わられた。1930年代に米国でドラムブレーキのセルフサーボ効果を利用するサーボブレーキ(デュオサーボブレーキ、ユニサーボブレーキ)が生まれると、その採用が急速に拡大した。サーボブレーキは1960年代後半まで常用ブレーキとして多用された。現在でも後輪ディスクブレーキ装着車の駐車ブレーキとして使用されている。

1920年代まではブレーキペダルからメカニカルリンケージでドラムブレーキまで力を伝達する、いわゆるメカニカルブレーキであった。メカニカルブレーキの大きな欠点は、機械的損失が大きいこと、各輪のブレーキ力のアンバランスを生じること、前輪へのブレーキ装着が困難なことである。これらの欠点を一挙に解決したのは、1917年米人マルコム・ロッキード (Malcolm Lockheed) が発明した4輪液圧ブレーキである。液圧は前後の各車輪へブレーキチューブを経てフレキシブルゴムホースで均等に伝達されるため、効きのアンバランスが生じ難く、また前輪の回転や車輪のバンプの影響を避けることができた。この液圧ブレーキは1921年にデューゼンバーク A、1924年には量産車として初めてクライスラー・シックスに装着された。日本での本格的な液圧ブレーキの導入は昭和7(1932)年制定の標準型自動車が始まりである。昭和10(1935)年には量産化に成功し、当時発足したばかりのトヨタや日産にも採用されている。このシステムはロッキードの完全なコピーであった。

戦後再開された自動車生産は朝鮮戦争の特需を経て復興し、昭和30年代にトヨタ、日産、日野、いすゞが独自開発や欧米との技術提携で乗用車等の生産を本格化した。ブレーキ部品メーカーも欧米のブレーキメーカーから技術を導入し、アルミ合金製ブレーキシリンダ、デュオサーボブレーキや直接式真空倍力装置などの当時最新のブレーキの国産化を達成した。

昭和28(1953)年ル・マン (Le Mans) の自動車レースでデビューしたオポーズド型ディスクブレーキが、欧州でスポーツカーを中心に採用が増加した。1960年代後半にはオポーズド型の他に、廉価なフレームタイプやフィストタイプのフローティングディスクブレーキが欧州で開発され、時を経ずして日本メーカーも技術を導入し国産車に採用された。1960年代に多用されたデュオサーボブレーキは昭和40(1965)年代に、高速から安定したブレーキがかけられるディスクブレーキに取って代わられた。ディスクブレーキはドラムブレーキに較べると安定性に優れている反面効きは良くない。そのため踏力をアシストする真空倍力装置の大出力化と、その装着数が拡大した。2000年には前輪ブレーキは100%ディスクブレーキとなっている。普通車では後輪も75%がディスク化されている。

昭和40(1965)年代は、米国でラルフ・ネーダーによる車の安全性に対する問題提起が市民運動に結びつき、安全性への要求が高まった。それは、二重ブレーキ、ブレーキ失陥警報装置の義務化、プロポーションングバルブの装着拡大などブレーキシステムの改良が進んだ。

またこの時代は北米へ日本車輸出が急速に拡大した時代でもあった。輸出が拡大したことによって貿易摩擦という政治経済的問題を惹起すると同時に技術的にはフローティング型ディスクブレーキの錆付き固着が大きな問題となった。冬期路面凍結を防ぐため五大湖周辺で道路に撒かれる融雪剤(岩塩)が原因であった。この問題は日本車だけの問題ではなく同様のブレーキを装着した欧州車や米国車でも同じであったが、これに対する最初の回答は日本メーカーが行った。しかし欧州のブレーキメーカーはスライド部を完全にシールしたスライド方式とした一歩進歩したフローティング型を開発、日本でもこの方式がやがて主流になり現在に至っている。

本報告では取り上げなかったABS(アンチロックブレーキシステム)は昭和40年代中頃から登場し、現在は殆ど100%の乗用車に装着されている。ABSの採用によりブレーキシステムの構成やマスターシリンダの構造に影響を与えた。ABSを更に進化させたESC(電子姿勢制御システム、Electronic Stability Control system)やEBD(電子ブレーキ力配分システム、Electronic Braking force Distribution)はプロポーションングバルブを不要とした。

本報告では主として乗用車用の液圧ブレーキの日本における技術的發展を、世界の自動車技術の発展と、法規制や社会的要求による影響を絡み合わせて考察した。割愛したABSなどの電子システム、大型車、二輪車のブレーキシステム、重要構成部品である摩擦材の系統化は後日を期したい。

## ■ Abstract

The first gasoline engine vehicle, the Benz "Motorwagen", was introduced in 1886 and had an external contracting brake in the power train unit. The Benz Vero, a four-wheel vehicle introduced in 1904 as a successor to the Motorwagen, utilized exterior shoe brakes on its rear wheels. Exterior shoe brakes were typical vehicle brakes used around 1900. However, as vehicles became faster and heavier, these primitive brakes could not control them well.

Around 1900, the external contracting drum brake on rear wheels was gaining in popularity in the marketplace. However, due to concerns about it, such as tendencies for faster lining wear, brake force imbalance, and compatibility problems between the service brake and the parking brake, the brake was gradually replaced with internal expanding drum brakes. The servo brake (duo-servo or uni-servo brake), which utilized the self-servo effect of the drum brake, was introduced to the U.S. market in the 1930s. The servo brake was widely adopted and used until the late 1960s. At present, the servo brake is still being used as a parking brake for vehicles with rear disc brakes.

Until the 1920s, brake force was transmitted from the brake pedal to the wheel brakes by a mechanical linkage, i.e., a mechanical brake. The weaknesses of the mechanical brake included large mechanical loss, imbalance in brake force distribution to the wheels and difficulty of installation on front wheels. In 1917, American Malcolm Lockheed invented a four-wheel hydraulic brake system to solve these problems. The hydraulic pressure was transmitted equally to each of the wheel brakes, which were connected with a flexible brake hose through a brake tube. Consequently, imbalance in brake effectiveness did not occur, and the swivel effect of the front wheels and bump impact to the wheels were avoided. The first mass-produced hydraulic brake systems were then introduced by Duesenberg A in 1921 and by Chrysler six in 1924. In Japan, the hydraulic brake system was planned for standard type vehicles in 1932 and put into production in 1935. This Lockheed system was copied and implemented by the newly established companies Toyota and Nissan.

Following World War II, the vehicle industry was revived through the Special Procurement boom provided by the Korean War. In the 1950s, Toyota, Nissan, Hino and Isuzu launched true mass production of passenger cars based on their own development and on technical licenses from European and/or American companies. Brake manufacturers in Japan also contracted with European and/or American manufacturers for technical licenses in order to localize state-of-the-art production of aluminum brake cylinders, duo-servo brakes and direct-acting vacuum boosters.

The opposed disc brake, debuted at the Le Mans auto race in 1953, gained in popularity and was adopted mainly by sports-type vehicles in Europe. In the 1960s, besides the opposed type, the frame-type and fist-type floating disc brakes were developed and soon after, brake manufacturers in Japan implemented these technologies on Japanese OEM passenger vehicles. The duo-servo brake was used widely in the 1960s, but it was rapidly replaced by the disc brake, which had more stabilized braking performance under high-speed conditions. In general, the disc brake has better braking stability but is not significantly more effective than the drum brake. To use the disc brake, installation of the booster became popular to obtain greater output force. By 2000, disc brakes had been adopted on 100% of front brakes and at present, disc brakes are used for 75% of all rear brakes.

Around 1965, Ralph Nader's vehicle safety initiatives aroused the grassroots civil rights movement in the U.S.. Consequently, many people were paying more attention to vehicle safety. As a result, technological improvements to brake systems moved forward, resulting in the dual circuit brake system, brake failure indicators, proportioning valves, etc. It is noted that the number of Japanese vehicles being exported to the U.S. was rapidly increasing at this time, and international trade interference was raised by the expansion of vehicle exports. At the same time, from a technical point of view, major problems occurred in North America such as corrosion on disc brakes. The corrosion was caused by the application of rock salt, a snow-melting agent scattered on roads around the Great Lakes to prevent icy conditions during the winter season. While this problem occurred not only on Japanese vehicles but also on American and European vehicles, Japanese manufacturers were the first to take action to seek a solution. However, the advanced solution that European manufacturers found, the complete sealed slide design, became the most popular one and even now is being used in Japan.

The antilock brake system (ABS), which is not specifically mentioned in this report, was introduced in 1971 and almost all vehicles now sold have ABS. This popularity of ABS has greatly influenced total braking system design as well as master cylinder structures. Furthermore, more advanced devices such as the electronic stability control (ESC) system and electronic braking force distribution (EBD) system make it unnecessary to use proportioning valves.

This report provides an historical review from the technical point of view, mainly of the hydraulic brake in Japan combined with the evolution of global automotive technologies as well as influences by regulation and marketplace requirements. Relevant aspects omitted from this report, including electronic brake systems such as ABS, brake systems for large trucks and motorcycles, and friction materials that are a part of vital brake components, will be reported on in the future.

## ■ Contents

1. はじめに	187
2. 自動車用ブレーキシステムの原理と概要	188
3. ブレーキ前史	193
4. 日本の揺籃期の自動車とブレーキ	196
5. 戦後の自動車工業の発達とブレーキ部品工業	202
6. ブレーキの構成要素別技術発展	206
7. ブレーキに関する法規制	248
8. ブレーキ技術の系統化とまとめ	251
謝辞	252
付属資料	253

# 5 ビール醸造設備発展の系統化調査

Historical Development of Brewing Equipment

藤沢 英夫  
Hideo Fujisawa

## ■ 要旨

日本における最初のビール醸造所の一つである「スプリング・バレー・ブルワリー (Spring Valley Brewery)」は、明治3年(1870年)アメリカ人のウィリアム・コーブランド(William Copeland)によって横浜山手の外国人居留地に開設された。日本のビール産業の歴史はここから始まったといつてよい。居留地の外国人から日本人へとビール消費が拡大していくにつれ、日本人経営者によるビール事業への参入が相次いだ。明治33年(1900年)には国産ビールのブランド数が100を超えるまでに増加した。一方、1873年にカール・フォン・リンデ(Carl Paul Gottfried von Linde)が発明した冷凍機は、ホップのきいた爽快な香味の「ピルスナービール」の低温発酵を工業的に可能とした。ドイツを初め世界中に瞬く間に広まったこのビールは日本人の嗜好性にも合致し、市場の要求は急速にピルスナービールへと移っていった。多額の資金を要するこの最新の設備・技術の導入は、資本力を有する大手ビール会社以外には不可能であった。これは明治34年(1901年)のビール税法の施行と合わせて、中小ビール会社の淘汰・再編を促す要因となり、大手ビール会社数社による寡占体制が早い時期に形成された。これが日本におけるビール産業構造の大きな特徴である。

当初の「スプリング・バレー・ブルワリー」のビール醸造設備は、まだ中世ヨーロッパ時代から続いてきた古来の酒造りのスタイルのものであった。1760年代(イギリス)以降、欧州で展開された「工業化」の波がそれを一変させた。「蒸気機関」や「冷凍機」、「酵母純粋培養装置」といった機械の出現が、伝統的なビール醸造工程を一挙に近代化したのである。勃興して間もない日本のビール産業も欧州のビール先進国、特にドイツの最新設備や技術によって容易に近代化を図ることができた。以後、急速なビール需要拡大の中で設備能力の拡張を急ぐ日本のビール各社は、醸造設備の開発・製作を主としてドイツの設備メーカーに依存していった。

ビール醸造設備は、主として仕込や醗酵用の容器と加熱・冷却用の装置、濾過装置などで構成されている。基本的には汎用的な産業機械・装置を応用してビール醸造用に組み立てられた設備であるといつてよく、ビール醸造用として特殊なものは比較的少ない。その意味で、ビール醸造設備はいろいろな産業に共通した設備・技術の発展と連動しながら近代化を遂げてきたともいえる。

日本のビール各社が終始追求していったのは、高度経済成長期を中心とした急激な需要に対応するための「大量生産」であり、そのための醸造容器の「大型化」であった。これが日本のビール醸造設備発展における大きな特徴である。昭和40年(1965年)に日本で開発された500kl規模の大型醗酵・貯蔵タンク「アサヒタンク」は、日本における数少ない設備開発事例の一つである。ビールにおける日本の開発力は、むしろ市場(消費者)を開拓する「商品開発」に向けられ、今日の多彩な「多品種商品」をもたらした。「壺詰・缶詰生ビール」や「発泡酒」など、時代の動きに合わせて従来にないジャンルの商品を創り上げた開発技術は日本独特のものであったといえる。

本報告書は、ビールの一般的理解のために「日本におけるビール産業の発展推移(第2章)」と「ビール製造工程の概要(第3章)」を初めに紹介し、その後には本論の「ビール醸造設備の発展推移(第4章)」を記述した。

## ■ Abstract

The history of the Japanese beer industry began with Spring Valley Brewery, Japan's one of the first brewery. The Spring Valley Brewery was established by American William Copeland in an enclave of foreign residents in Yamate, Yokohama in 1870. As beer consumption in Japan increased, spreading from the foreign residents of Yokohama to the general population, the Japanese themselves became increasingly involved in the production of beer. By 1900, the number of Japanese breweries had reached over 100. Meanwhile, the refrigeration machine invented by Carl Paul Gottfried von Linde in 1873 enabled the industrial-scale application of low-temperature fermentation that produce the strongly-hopped, refreshing "Pilsner beer". The popularity of this pilsner beer spread rapidly, gaining fans throughout the world, including Germany. The taste was also a hit in Japan. This popularity brought on a rapid shift in the market demand for pilsner beer. However, procuring the advanced equipment and technologies that made pilsner beer possible required large amounts of capital, an investment that only major beer companies could hope to make. In addition to establishing a beer tax law in 1901, the need for capital to invest in equipment and technology accelerated the culling and restructuring of mid- and small-sized beer companies, which in turn resulted in the formation of a closed market early on, where only a small group of

major beer companies are dominant. This is a major characteristic of the beer industry in Japan.

Spring Valley Brewery initially used traditional brewing equipment passed down from medieval times in Europe. However, the wave of industrialization that rolled through Europe from the 1760's (England) changed the face of brewing. The emergence of machinery such as the steam engine, the refrigerator, and pure yeast culture apparatuses altered the traditional processes of beer production once and for all. The young Japanese beer industry that had sprung to life not long after this revolutionary change was able to achieve rapid modernization with relative ease by utilizing the latest and most advanced equipment and technologies being developed in European countries, especially Germany, that were far ahead of it in the art of brewing. Each beer company in Japan that rushed to expand production to keep up with the rapid increase in demand, however, came to depend largely on the equipment manufacturers in Germany for the development and manufacture of their brewing equipment.

Beer brewing equipment mainly consists of containers for mashing and fermentation as well as cooling and filtering apparatuses. In reality, however, the equipment used in brewing is actually only versatile industrial machinery and apparatuses used in a variety of industries, and there is, in fact relatively little equipment designed specifically for the brewing of beer. In this sense, it can be said that the development of beer brewing equipment is closely tied with the development of equipment and technologies common to a number of different industries.

In Japan, beer companies consistently attempted to respond to sharp increases in demand during periods of high economic growth by increasingly pursuing mass production with an emphasis on increasing the size of the brewing containers employed in mass production. This is the major characteristic that defined the development of beer brewing equipment in Japan. The Asahi Tank, developed in 1965 as a large-sized tank for fermentation and storage with a capacity of 500 kl, is an example of one among few cases of equipment development in Japan. The Japanese beer industry put more efforts into product development for the expansion of markets (consumers) , which brought about the wide variety of products currently seen in the industry. The development technologies that created products in new categories, such as bottled/canned draft beer or low-malt beer called Happoshu, in accordance with consumer trends represent unique Japanese product development strategies.

To increase the general understanding of beer, this study examines The Development and Change of Beer Industry in Japan (Chapter 2) and Outline of Beer Production Processes (Chapter 3) , which serve as background of the main body, Development and Change of Beer Brewing Equipment (Chapter 4) .

## ■ Contents

1. はじめに	187
2. 日本におけるビール産業の発展推移	188
3. ビール製造工程の概要	193
4. ビール醸造設備の発展推移	196
5. ビール醸造設備発展の系統化	202
6. あとがき(今後の醸造設備の展望を含めて)	206
謝辞	248
資料 ビール醸造設備技術の発展の系統化	251
明治・大正時代のビール銘柄一覧	206
主要なビール醸造設備の発展推移	206