

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 Yohihiro Hayashida

■ 要旨

1886年に登場した最初のカソリンエンジン搭載車、ベンツ「モートルヴァーゲン (Motorwagen)」はパワートレー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年前後はこの様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パンク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.

■ Profile

林田 吉弘 Yohihiro Hayashida

国立科学博物館産業技術史資料情報センター支援研究員

昭和40年3月 宮崎大学工学部機械工学科卒業
昭和40年4月 トキコ株式会社入社
自動車部設計課に配属
ブレーキ製品の設計に従事
昭和61年2月 同社山梨(ブレーキ)工場設計部部長
平成3年2月 同社山梨工場副工場長
平成5年9月 同社自動車事業部主幹技師長
平成8年6月 同社理事 自動車事業部 調査企画部長
平成13年6月 同社退職
平成15年5月 三菱商事技術アドバイザー
平成17年9月 NPOサンフラワー2 1 理事
現在 国立科学博物館産業技術史
資料情報センター支援研究員

■ 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

1 | はじめに

平成 18 年には全世界で約 6 千万台の自動車が製造されている。そのうち日本メーカー製の車は国内生産が 1 千百万台強、海外生産がほぼ同量で日本メーカーの合計生産台数は 2 千 2 百万台を超える。世界の 3 分の 1 以上は日本車メーカーが作っている車なのである。日本車がこれだけ世界を圧倒しているのは省エネ、省資源型でかつユーザーニーズに合致した高品質、高性能な車である証であろう。このことにはブレーキの品質も寄与しているにちがいないと思われるが、ブレーキはそのスタート時から成長期に至るまで、全て外国製の技術から始まっている。

元来日本には自動車の前身たる馬車の時代がなかった。日本では馬車と自動車はそれほど時間をおかずに始まっている。従って馬車が通るための道路が元々整備されてはならず、戦後昭和 30 年代初めに、自家用車が少ないながらも普及する時代になっても一部の市街地とその近郊以外は未舗装でこぼこ道しかなかった。この様な状況ではブレーキ性能を極限まで突き詰めて問題を洗い出すことは難しく、高速道路が整備され、国内でも自動車レースが頻繁に行われるような時代まで欧米の後塵を拝していたのは致し方ないことであった。そのような時代にあっても戦後アメリカに学んだ品質管理を日本人特有のやり方、感性で築きあげていき、ブレーキの基礎技術も地道に努力した結果、欧米とは違う道をたどりながらやがて頂点を極めるにいたったのである。この様に発展してきた道を振り返って記録にとどめ、これから自動車を更に発達させるであろう若い設計者に一つの指針となれば幸いである。

ブレーキは自動車以前から存在する。車輪を用いるものは、何らかの形で動いている状態から減速し、停止し、停止状態に保つようにしなければ使えない。エンジン無しの車を動かすことはできるが、ブレーキ無しの車を坂の上から動かそうとする人はいないであろう。

自動車のブレーキは、①入力及び変換部、②制御部、③ホイールブレーキ部の 3 要素で構成されている。その構成要素は、それぞれ機能・構造は全く独立した別物で、これらを単にブレーキ配管で接続してできあがったものなのである。とはいえ、ブレーキは自動車にとってなくてはならない重要な地位を占め、かつその欠陥が人の生死に関わる重要な部品なのである。

本報告書では、第 2 章でブレーキの概要、すなわちブレーキとはいかなるものかということを紹介する。第 3 章で馬車の時代から、エンジンがついた馬なし馬

車と呼ばれた自動車が登場し、更に液圧ブレーキが登場するまでのブレーキ前史をたどり、第 4 章で明治から戦前までの日本の自動車揺籃期のブレーキ技術の状況を明らかにする。さらに第 5 章で戦後の混乱期から昭和 40 年代モータリゼーションの開花で急増した生産量と共に発達したブレーキ技術の開発の背景を概説した後、第 6 章で個別のブレーキ要素および摩擦材、ブレーキ液、ゴムカップと言ったブレーキの重要部材の発展の状況を個々にたどることとする。第 7 章でブレーキに多大な影響を与えた国内外の法規制とブレーキ技術の関連について考察し、第 8 章で日本のブレーキ技術の発展のまとめとその系統化を図る。

1970 年代に登場した後 2 輪だけを制御するプリミティブなものから発展し、高度な電子制御で前後 4 車輪のロックを防止するようにした ABS (Antilock Brake System) が既に 100% 近くの乗用車に搭載されている。ABS から発展した電子制御で前後左右の車輪に適正なブレーキ圧を配分するシステム EBD (Electronic Braking force Distribution)、車体の走行安定性を電子制御する ESC (Electronic Stability Control System) など市場に投入されているが、これらは基礎的なブレーキとはその技術的内容が大きく異なるので、本報告では触れない。

また大型車に用いられるエアブレーキシステム、大型車の内、比較的小型の「中型車」と呼ばれる車に用いられるエアオーバーハイドロリックブレーキシステムのような作動源を異にするシステムも存在する。これらを全て網羅的に今回の報告書に盛り込むことは、その技術の起源が大きく異なり、限られた紙面では言い尽くせないため、第 2 章のシステム概要で簡単に説明するにとどめることにした。

(参考資料)

- ・田中博久他 「ブレーキにおける革新的な技術」 自動車技術誌 Vol. 59 No. 1 2005 自動車技術会
- ・山中 旭 「スポーツカーはなぜ必要か？」 モーターファン誌 Vol. 18 No. 7 (1964 年 7 月号 P91-95)
- ・奥村正二 「世界の自動車」 岩波新書 1964 年
- ・NO. 12 自動車統計月報 2008 年 3 月号 自動車工業会

2 | 自動車用ブレーキシステムの原理と概要

2.1 ブレーキの基本原理

ブレーキは物体の持つ運動エネルギーを、何らかの方法で別のエネルギーに変換し、放散もしくは吸収・蓄積し、物体を減速もしくは停止に至らしめる装置である。自動車用ブレーキも基本原理は全く同じであり、荷車から最新の自動車に至るまで、車輪、もしくはそれと一体に回転する物体に摩擦部材を機械的に押しつけ熱エネルギーに変換、大気中に放散するものである(図 2.1)。

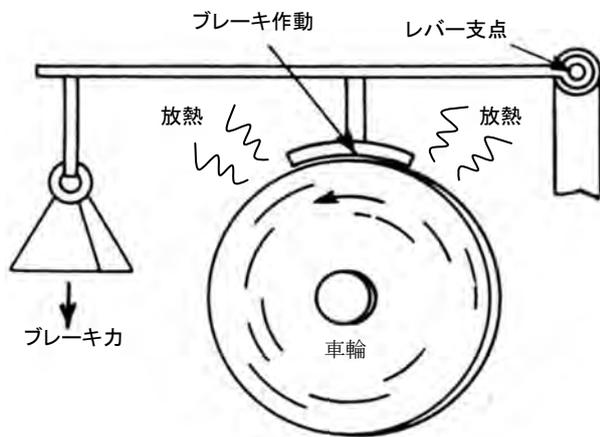


図 2.1 ブレーキの原理 (Brake Dynamics) (注1)

自動車用ブレーキは、その最初期は人の操作力を機械的なリンク機構で回転部分のブレーキ機構に伝えるメカニカルブレーキであった。1920年代に操作力を

液圧に変換して前後輪に装着されたブレーキ装置に伝達する液圧ブレーキが出現した。さらにポンプで加圧した液圧や空気圧を使う、人間の操作力に頼らないものにまで進化した。

以下簡単にそれらのブレーキシステムを紹介する。

2.2 機械式ブレーキと液圧式ブレーキ

(1) 機械式(メカニカル)ブレーキ(図 2.2)

自動車のごく初期に用いられたものである。ブレーキペダルで回転する軸、その軸に取り付けられたベルクランク、レバー、ロッドなどからなるリンク機構により、各車輪に取り付けられたホイールブレーキに力を伝達する。駐車ブレーキ用としてハンドブレーキレバーがブレーキペダルとは別に設けられている。ごく初期には、操舵を伴う前輪へのリンク機構が複雑化すること、急な操舵や悪路でのバンプで前輪に思わぬブレーキがかかることを怖れていたため、後輪のみにブレーキが装着されていた。自動車が大型化し、また高速化するに従い後輪のみでは制動力が不十分であることが分かり、前輪にもブレーキを装着するようになった。

ハンドブレーキは駐車ブレーキとしての他に、非常用のブレーキとしても用いられる。

ホイールブレーキの機構は1900年前後から1910年代は外部縮小式ドラムブレーキ(図 2.3)が主流であったが、その後次第に内部拡張式ドラムブレーキ(図 2.4)に取って代わられた。

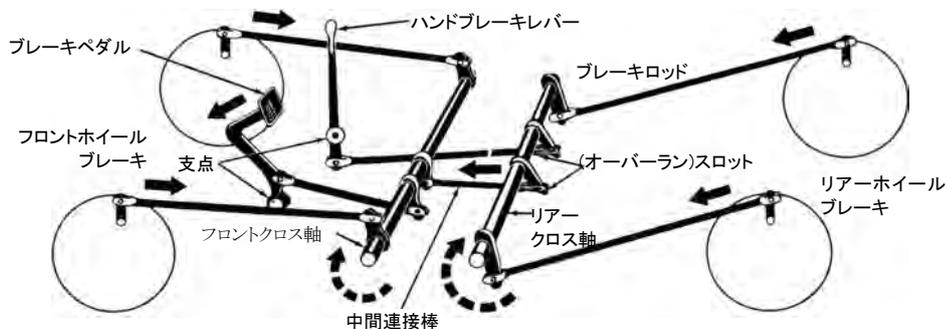


図 2.2 機械式ブレーキ(メカニカルブレーキ) (注1)

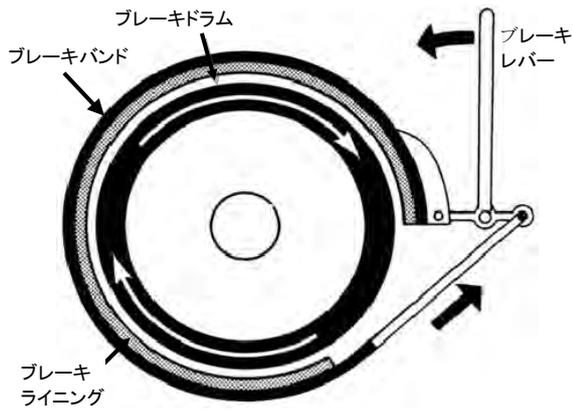


図 2.3 外部縮小式ドラムブレーキ^(注1)

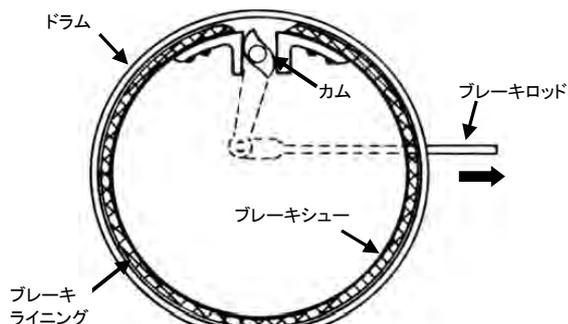


図 2.4 内部拡張式ドラムブレーキ^(注1)

(2) 液圧ブレーキ (ハイドロリックブレーキ) (図 2.5)

運転者がブレーキペダルを踏み込むとプッシュロッドがマスターシリンダのピストンを押し込んでマスターシリンダ内の液体を圧縮、配管（スチールチューブやフレキシブルなブレーキホースなど）を介して各車輪ブレーキのホイールシリンダに送り込まれる。ホイールシリンダのピストンは液圧を受けて、2個のブレーキシュー（S）を左右に押し開き摩擦材（ライニングL）を車輪と共に回転するドラム（D）に押しつけ制動する。

ドラムとの摩擦で発生した熱はドラムから、また一部は車体に伝わり、最終的には空中へ放散される。

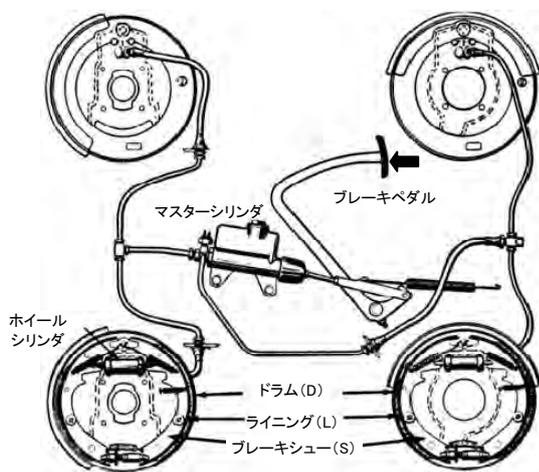


図 2.5 液圧ブレーキシステム^(注1)

作動流体には低粘度の鉱物油やひまし油を低級アルコール（エタノール、ブタノールなど）に溶解させた液体を用いた。しかし、鉱物油のゴムシールに対する悪影響や、ひまし油ベースの作動液の沸点が低いことなどから、グリコールエーテルベースのブレーキ液（オイルではない）へと変わってきた。

液圧ブレーキの最大の利点は前後各輪への圧力の伝達が迅速かつ均一であることにある。各輪についているブレーキ機構自体は機械的なもので機械式ブレーキの一種である事には変わらない^(注1)。図 2.7 に示す現代のブレーキも図 2.5 のシステムと基本は同じである。液圧による力の伝達は 17 世紀パスカルによって発見された「パスカルの原理」そのものである（図 2.6）。

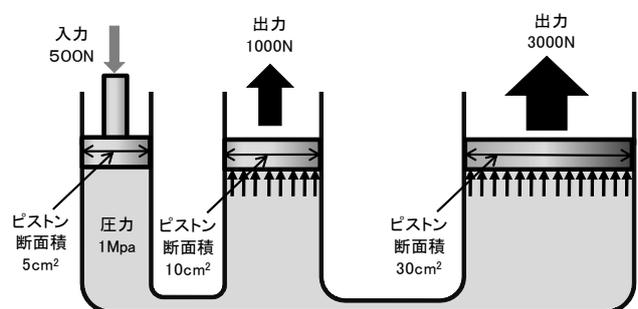


図 2.6 パスカルの原理

運転者の操作力はマスターシリンダのピストンに加えられ、ピストンの面積に応じた圧力に変換される。圧力は配管を伝わってホイールシリンダのピストンにほぼ同時に加わり、ホイールシリンダピストンの面積に応じた力を外部に作用させる。

機械式ブレーキがペダル入力を直接機械的リンク機構でホイールブレーキへ力を伝達するのに対し、液圧ブレーキシステムはいったん液圧（ハイドロリックプレッシャー）に変換し、それを再び機械的出力に変換するところが異なるのみである。

機械式リンク伝達機構では各部の「ガタ」や摩擦により力の損失が大きく、伝達遅れや伝達の不均衡が生じる。また軸受け部分のグリース切れや摩耗により初期性能の維持が極めて難しかった。

さらに前後輪の静的質量バランス変化に対応してブレーキ配分を変化させることや、ブレーキングによる質量移動に対応してブレーキ力の前後配分を変化させることを機械的に行うのは極めて困難であるが、液圧ブレーキ制御ではこれらの問題は比較的容易に解決できる。

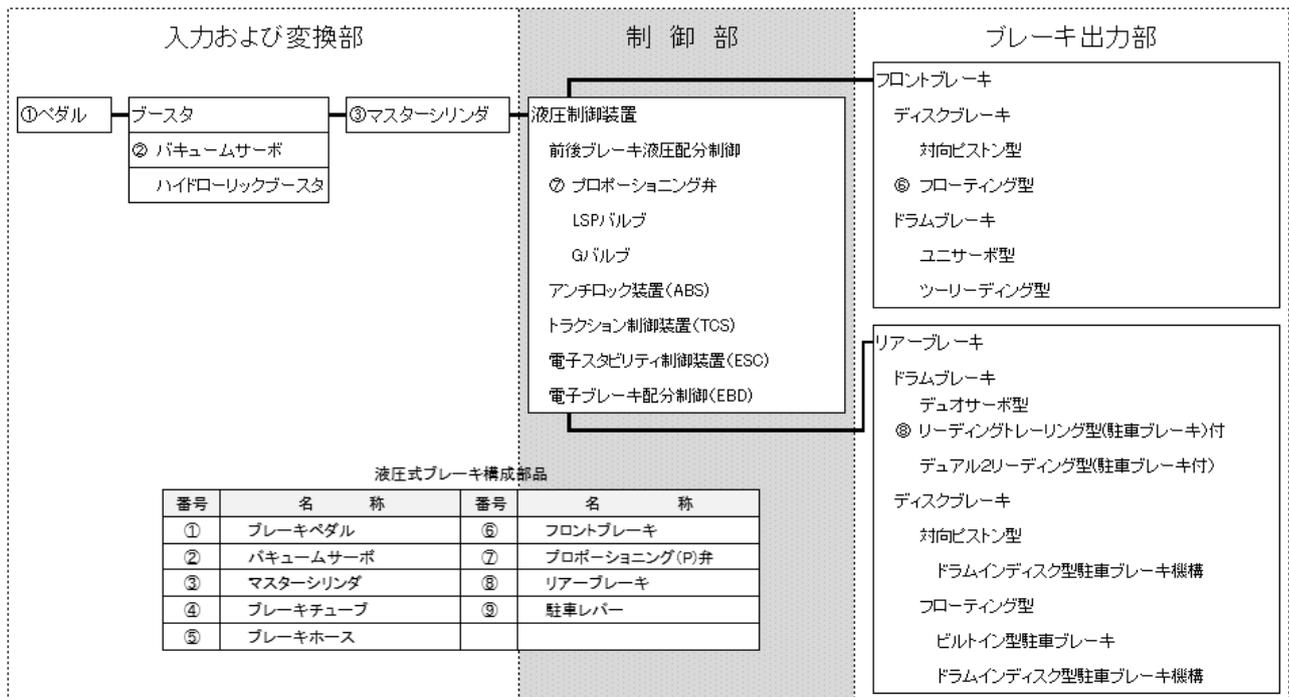
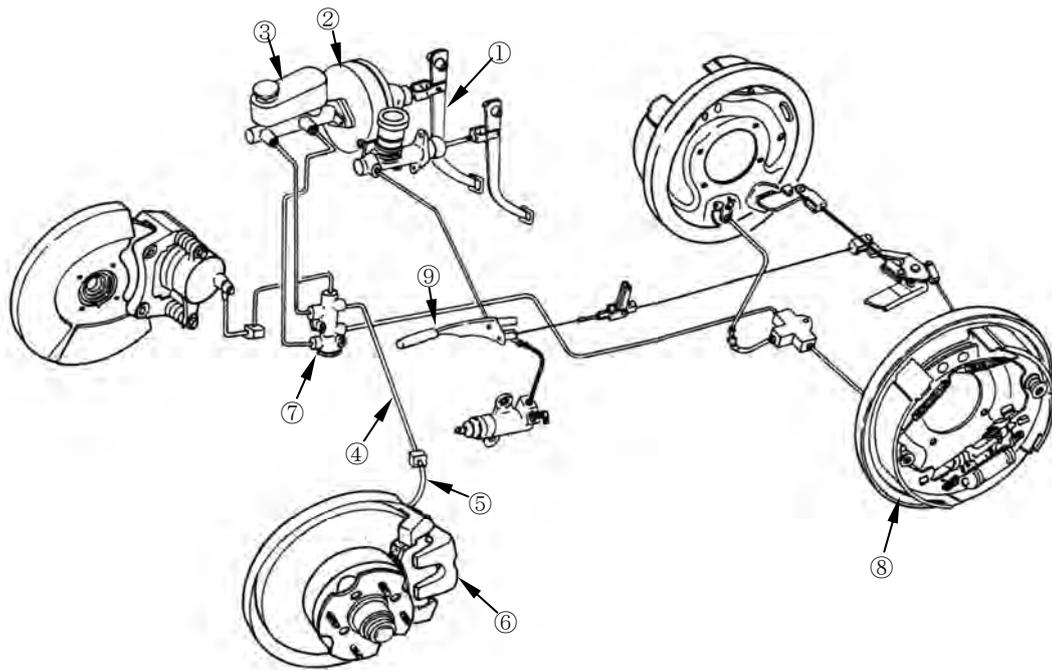


図 2.7 普通乗用車の代表的液圧ブレーキの構成図と構成部品表 (ブレーキシステム図は日立製作所提供)

2.3 自動車用ブレーキシステム

自動車は、大まかには

- (1) 小型・普通乗用車、小型トラック
 - (2) 大型車両 (中型・大型トラック、バス、トラックター&トレーラーなど)
 - (3) 二輪車
 - (4) 特殊車
- の 4 種類に分類される。この中で今回の系統化には

(3) の 2 輪車および (4) の特殊車は含めない。また (2) の大型車両については、この章でシステムを概説するにとどめる。

(1) 小型・普通乗用車、小型トラックの液圧ブレーキ 代表的構成図と構成部品の例を図 2.7 に示す。最新のシステムの制御部には、前後の制動力配分を制御するプロポーションングバルブ⑦の代わりに、より高度な電子制御アンチロック装置 (ABS) が装着されている。またフロントホイールブレーキはほぼ全車にディスクブレーキが装着されている。ABS の増加に伴いリ

ペンションと同一圧力源を使ったブレーキシステムが実用化された最初の乗用車として有名である。マッシュルーム形のブレーキ操作ボタンを軽く踏むだけでブレーキがかかる。ハイドロニューマチックサスペンションは、エンジン駆動のポンプから各車輪にある高圧空気を封じ込めたアキュムレータを持つシリンダに圧液を送り、車高が常に一定となるようにしたサスペンションである。エンジンを切ると暫くすると圧力が抜けて車高が下がるので、エンジンを始動して車高が走行状態になるまで少し時間がかかる。リアのトランクルームや後部席の積載量に応じてブレーキ力の前後比を補償するイコライザー機構もついていた。サスペンション系とブレーキ系を同一動力源とする発想（シトロエンはさらにステアリング系も同じにした）は故障時の安全性の面からみて好ましいことではなく、システム自体が時代を超越したものであったためだろうかシトロエンの追従者はいなかった。

(引用文献)

- (注1) Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963年 Motor Vehicle Research of New Hampshire Section 1P41-59 に掲載の本文の一部及び図を抄訳し修正して引用。
- (注2) 自動車部品工業会「シリンダ技術委員会」編「自動車用液圧ブレーキシステム（改訂）」P243 から一部加筆修正して引用
- (注3) 同上 P241、246、247 より図を引用

(参考文献)

- ・Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963年 Motor Vehicle Research of New Hampshire
- ・日本機械学会ブレーキ図集分科会編 機械図集 ブレーキ 昭和51年
- ・自動車部品工業会「シリンダ技術委員会」編「自動車用液圧ブレーキシステム（改訂）」

3 | ブレーキ前史

(1) 世界最古の車

記録に残っている最古の車は紀元前 2600 年頃のシュメール文明、ウル朝の王墓から発掘された木彫りパネル (Standard of Ur、British Museum 蔵) の戦争パネル部分 (図 3.1) に描かれた戦車と思われる。一般に転がり摩擦係数は滑り摩擦係数の 100 分の 1 ~ 1000 分の 1 程度であるからコロや車を使うと重いものを極めて容易に動かすことができる。この戦車も重量物や人の速やかな運搬に使われたのであろう。木製の組立車輪は認められるがブレーキの働きをするものは見あたらない。どうやら、引いているのは馬ではなくロバのようでもあり、速く走るのが目的ではなく、槍のような武器や食糧を運ぶのが主目的だったと思われる。



図 3.1 ウルの戦車
War panel, Standard of Ur © Trustees of the British Museum

その後一般的に使用された車は丸太から削りだした車輪と一枚板の荷台を持つ粗末な荷車で、車輪に穴を開け、そこから荷台の下に棒きれ (ストック) を差し込んで車輪の回転を止めるようにしていた。目的は止まっている荷車を動かないようにするもので、「歯止め」と基本的には変わるものではなくブレーキとは言い難い。車を止める力は、回転を止められた車輪と路面との間の摩擦力だけであるので、滑りやすい路面では荷車が止まらないこともあった。

(2) 農作業用荷馬車のブレーキ (図 3.2)

時代はくだって農作業用の荷馬車になると、荷物の量も増え坂道を下るとき、動物の力では荷馬車を制御できない。このため車輪の外周にはめられた鉄製リムに木のブロック (ブレーキシュー) を「てこ」の原理で押しつけるシューブレーキが使われた。この形式のブレーキは作動源に空気圧を用い、摩擦材に焼結合金を用いる違いはあるが、鉄道車両用としては今でも使われている。

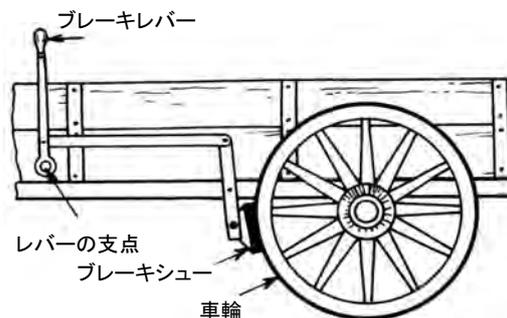


図 3.2 農場の荷馬車のブレーキ (Brake Dynamics^(注1))

(3) 駅馬車 (Stage Coach) のブレーキ

駅馬車には御者が手または足で操作する Shoe-on-wheel Brake と呼ばれるブレーキが使われていた。駅馬車は農作業用荷馬車に較べると格段に重く、また速く走るので、専ら下り坂などで車体が馬を突き上げるという、いわゆる「オーバーラン」を防ぐ目的で使われた。

当初御者が履いている革靴 (シュー) を直接車輪に押しつけて馬車の速度を制御したことから、制動用摩擦片をブレーキシューと呼ぶようになったという。

(4) 馬なし馬車と外部縮小式ドラムブレーキの登場

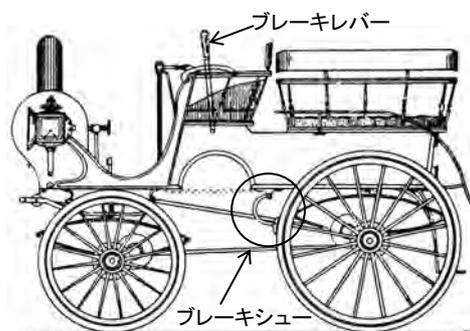


図 3.3 初期の馬なし馬車 (Horseless Carriage)^(注1)

馬の代わりにエンジンをつけた馬なし馬車は、初めはレバー操作で車輪外周にブレーキシューを押しつけるだけのブレーキ (図 3.3) であったが、やがてもっと効きの良いブレーキが必要になった。車輪にブレーキ片を押しつける代わりに、車軸または車輪と一体に回転するドラムを設け、そのドラムに摩擦材 (ライニング) を内側に貼ったバンドを巻き付け、それを締めつけてブレーキをかける方法がとられるようになった。この形式を外縮小式ドラムブレーキ (External contracting drum brake) という (図 3.4)。初期のものは後輪車軸 (リアアクスル) に 1 個だけ取り付けられていたが、のちには後輪に 2 個装着されるようになった。

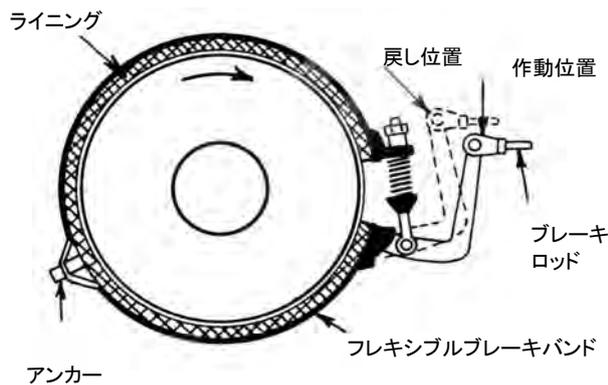


図 3.4 外部縮小式ドラムブレーキの構造^(注1)

この構造のブレーキは一部の自転車のブレーキに現在でも使われているが、自動車では1910年代末には、常用ブレーキとしての役目を終わっている。

(5) 内部拡張式ドラムブレーキ (図 3.5)

外部縮小式は「効き」の良いブレーキである。しかし熱の放散が悪いため摩擦面の温度上昇が大きく、さらに雨水がライニング (摩擦材) に直接影響し「効き」が極めて変化しやすい。また、土砂の影響を直接受けドラムや摩擦材が摩耗しやすいなどの欠点が目立ってきた。このためドラムの内側にライニングを外側に貼り付けたブレーキバンドを入れ、拡張してドラム内径部に押しつけるようにした内部拡張式ドラムブレーキ (Internal expanding drum brake) にとって変わられた。2章でも述べたように初期のブレーキは手動レバーや足動ペダルで入力しリンク機構を介してドラムブレーキのブレーキロッドを作動させる機械的な力の伝達機構となっている。

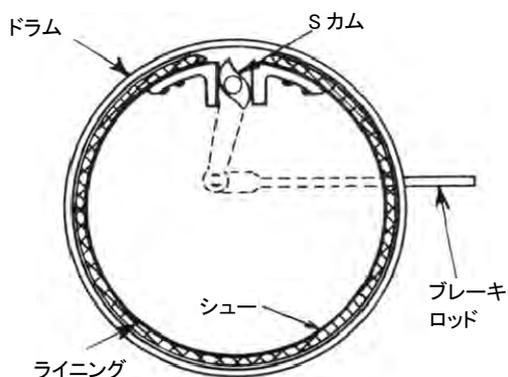


図 3.5 初期の内部拡張式ドラムブレーキ^(注1)

(6) ロッキードの液圧ブレーキの登場

外部収縮式から内部拡張式と変化しブレーキの性能は向上してきた。だが機械的な力の伝達方法では、

- ① 摩擦損失などの機械的ロスが大きい。

- ② リンケージのガタをゼロにすることは不可能で、力の伝達遅れや、損失ストロークの増大を招く。
- ③ リンケージのガタや錆び付きで前後左右の力の伝達不均一、効きのアンバランスを生じ易い。
- ④ 前輪はハンドル操作のため車輪が回転し、リンケージの装着が困難。
- ⑤ 車が大きくバンプすると予期せぬブレーキがかってしまう。

等の欠陥があった。この時代になると車の速度も上がり、それに合わせるように道路の整備が進むと、後輪のみでブレーキ制御することは、十分なブレーキ力が得られないので前輪にも機械伝達方式の4輪ブレーキが採用されるようになってきた。

このような背景の中、1917年12月に、アメリカ人マルコム・ロッキード (Malcolm Loughead、このスコットランド系の名字は発音が難しいので、のちに発音どおりの Lockheed と改姓した。また飛行機製造会社ロッキード社は弟のアラン・ロッキードと共同で作った会社である) が機械伝達方式の欠点を払拭する液圧作動ブレーキ (Hydraulic Brake System) の特許 (図 3.6)^(注2) を取得した。

この液圧システムは1921年発売のアメリカの高級車デューゼンバーグ (Duesenberg) Model A に搭載された。次いで1924年に中級量産車のクライスラー・シックスに搭載され、その後1930年代に広く普及するに至った。GMは最高級車キャデラックに液圧式ブレーキを採用したのは1936年式からで随分保守的であった。

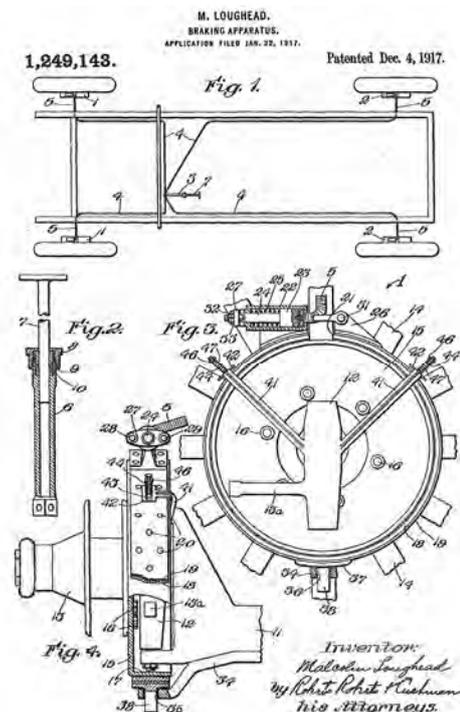


図 3.6 世界初のロッキードの液圧式ブレーキ米国特許^(注2)

イギリスのオースチンなどは第2次大戦後も1950年代に至るまで機械式で通しているのには驚くが、これはガーリング社が1925年に開発した（ロッキードの液圧式が世に出た後の発明である）ウェッジアンドローラーブレーキという優れた機械作動式のブレーキ機構を持っていたからであろう。

液圧ブレーキの作動液（ブレーキ液）は、初めは砂糖水や水とグリセリンを混ぜたものも試されたというが、ロッキードは1925年に米国特許「ひまし油」と「アルコール」を混合したブレーキ液の特許^(注3)を取得している。このひまし油ベースのブレーキ液組成の考え方は、潤滑性やシール部材に使われる天然ゴムとの相性が良く、その後の基本となって、戦後さらに高温性能が要求されるディスクブレーキが現れる時代まで続いた。ここまでのブレーキの歴史には日本の姿は全く見えてこない。

(引用文献)

- (注1) Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963年 Motor Vehicle Research of New Hampshire, Section 1, P41-44
- (注2) マルコム・ロッキード USP1,249,143 液圧ブレーキ米国特許
- (注3) マルコム・ロッキード USP1,525,942 ブレーキ液米国特許

(参考文献)

- ・トヨタ博物館（五十嵐 平監修）カタログ 2005年
- ・日本オートケミカル工業会編 「オートケミカル」1991年 幸書房
- ・矢田平祐 「ブレーキ」昭和45年 鉄道日本社
- ・J. シャジェット（Chagette）「実用自動車工学」昭和43年 山海堂
- ・Girling社 Brake Service manual 1958年

4 | 日本の揺籃期の自動車とブレーキ技術

4.1 揺籃期の自動車産業

日本で最初に作られた自動車は明治 37(1904)年、岡山で山羽電機工場を経営していた山羽虎夫が製造した蒸気自動車とされている。しかし佐々木烈氏が著書で、「果たして山羽蒸気自動車は定説のような国産車であったのか、そして実際に走ったのだろうか」^(注1)と疑問を投げかけているように、これを初めとするのはいささか疑問があるのも事実だろう。

国産ガソリンエンジンを搭載した自動車第 1 号は明治 40(1907)年に吉田真太郎が主宰する東京自動車製作所が製造した、タクリー号と呼ばれた吉田式自動車である。エンジンはフォードをモデルにして製造した^(注2)。部品の多くは欧米から輸入したものを集めて組み立て、ボディーを架装したに過ぎないが、それまでの 1 台試作程度の域を脱し 10 数台製造、販売されている^(注3)。

同じ明治 40(1907)年には、のちにダイハツ工業となる発動機製造が大阪に創立された。内燃機関の開発、製造を目的として大学教授や技術者が集まって作られた、ベンチャー企業であった。オート 3 輪車を製造するようになるのは昭和 5 (1930) 年である^(注3)。

明治 44(1911)年には橋本増次郎が東京に快進社を起こした。日産自動車 30 年史によると、当初は輸入車のボディー架装と修理を行う程度の会社であった。その後イギリスから「スウィフト」という車のシャシーを輸入しボディーを架装するようになった。さらに大正 3(1914)年に自社製水冷 2 気筒 10 馬力のエンジンを搭載したダット(DAT)号を完成し、大正博覧会で銅牌を受けた。変速機や気化器も自製し、輸入部品は車輪、タイヤ、マグネトー、点火栓、ベアリングのみであった。その後改良を加えたダット号は 7 台ほど製造されている。しかし機械設備 30 台そこそこ、建坪 600 坪、従業員 60 名程度の工場では、大量生産された廉価な輸入車に対抗することは不可能であった^(注4)。

話は少しさかのぼるが明治 40(1907)年頃から自動車の軍事的価値に着目した日本陸軍は大阪と東京の陸軍砲兵工廠で軍用自動車の試作研究を開始した。明治 44(1911)年にフランス製トラック「ノーム」をモデルとして大阪工廠で 2 台、さらに大正 2(1913)年には陸軍技術審査部設計の軍用自動貨車(以下トラックと言う)を大阪と東京の砲兵工廠で各 2 台を完成させた^(注3)。

この完成により陸軍は本格的な国産化を考え始めた。

大正 3(1914)年に始まった欧州大戦での自動車の活躍に促され、大正 7(1918)年に軍用自動車補助法が制定された。同法は軍用トラックとその応用車を対象に構造、性能基準を定め、製造設備、技術者の基準を決定し、その基準に適用生産者及び使用者(一旦緩急あれば相応の補償金を受けて軍に供する事を条件に民間の使用者に許可した)に補助金を交付して、自動車工業の育成を行う事を目的としたものであった。

その条件には、

- 1) 資本の半額以上および議決権の過半数が日本人に属する企業であること。
 - 2) 4 分の 3 トン以上のトラック年産能力 100 台以上
 - 3) 主要部分を自家生産し、外国製品は許可された特殊品目に限定し、一般に国産部品を使用する。
- 等が規定されている。同法の適用を受けた自動車は軍用保護自動車と呼ばれた^(注5)。

表 4.1 軍用保護 3 社の生産量 (単位台)

年次	瓦斯電	石川島	ダット	合計
大正8年	12			12
大正9年	49			49
大正10年	28			28
大正11年				0
大正12年	2	3		5
大正13年	9	5	2	16
大正14年	6	103	18	127
昭和元年		202	43	245
昭和2年	25	243	34	302
昭和3年	70	246	117	433
昭和3年	58	205	111	374
昭和4年	57	177	137	371
昭和6年	180	300	122	602
合計	496	1,484	584	2,564

(出典：尾崎正久「日本自動車史」昭和 17 年^(注6))

大正 8(1919)年に東京瓦斯電気工業(以下瓦斯電と略す)はアメリカのリパブリック車をモデルにしたトラック TGE A 型で軍用保護自動車の資格を得た^(注3)。大正 10(1921)年にそれまで 1.5 トン積み以上という保護自動車の基準がそれ以下も含むように緩和され、大正 13(1924)年に石川島造船所がイギリスのウーズレートラックの国産化により同資格を得、同年快進社も

ダット乗用車をトラックに切り替えて保護自動車の資格を得た。この保護自動車メーカー、瓦斯電と石川島造船所（自動車部、のち石川島自動車製作所）が現在のいすゞ自動車と日野自動車へ、また快進社が日産自動車につながっていく。保護3社の大正後期から昭和初期にかけての生産量は表4.1に示すとおりである。

4.2 標準型自動車

軍の保護があったにしても表4.1に示すように昭和6(1931)年までの3社合計生産数は僅かに2,600台弱しかない。部品工業は無いに等しく、生産方式も殆どの部品を一品一品自社で作り、組立てるという手工業的生産方式では、高い輸入関税をかけても大量生産システムの高品質で安価なフォード、GMに対抗していく力はなかった。このような外国勢の攻勢に対し軍用保護自動車3社は軍のバックアップを得て昭和2(1927)年に国産自動車擁護運動を展開するが成功せず、その存立も難しい状況に至った。ところが、同じ頃国際収支の悪化を是正する目的で展開されていた国産品愛用運動と結びつき、商工省内に設けられた国産振興委員会が「自動車の国産化」を課題として取り上げたのである。

昭和6(1931)年7月商工省内に「自動車工業確立調査委員会」が設置され「国産自動車の標準規格を定めること」と「製造量が少ない期間適当な助成の方策をとる」という趣旨で国産自動車の標準型式を定めた。標準車は1.5トン及び2トン積みのトラックと、16人乗り、21人乗り、及び25人乗りバスの5型式からなるものであった。常用ブレーキはすべて内部拡張液圧式4輪ブレーキを装着する計画となっている。駐車ブレーキはプロペラシャフトに設けた外部縮小式センターブレーキである。表4.2にその主な仕様^(注7)を掲載する。後述するように瓦斯電が具体的に液圧ブレーキの研究を始めたのはこの標準車設計の時からである。

表4.2 国産標準自動車の主な仕様

名称	TX 35	TX 40	BX 35	BX 40	BX 45
用途	貨物車		乗合自動車		
エンジン	直列水冷6気筒 4.39l 最大出力67馬力				
積載量、定員	1,500kg	2,000kg	16人	21人	25人
全長	5.10m	5.60m	5.15m	5.90m	6.55m
全幅	1.80m	1.95m	1.80m	1.95m	1.95m
ホイールベース	3.50m	4.00m	3.50m	4.00m	4.50m
駐車ブレーキ	推進軸縮付 外部縮小式(センターブレーキ)				

(機械学会誌昭和7年7月号掲載の島秀雄論文より)

これら標準車の具体的設計は調査委員会と瓦斯電、

石川島自動車、ダット自動車の3社とが共同して行い、昭和7年11月第3次試作で所期の目標値を達成し、車名を「いすゞ」とされた。

しかし3社がそれぞれ競争して小規模な生産を続けてもフォード、GMの低廉な自動車に対抗できるはずもなく、3社の合同問題が俎上に上ってきた。最初にこの問題に取り組んだのは石川島自動車とダット自動車で、昭和8年に合併し「自動車工業」が成立した。しかしダット自動車は既に鮎川義介の日産コンツェルンの支配下にあり、小型車ダットサンの製造設備と製造権は日産コンツェルンの戸畑鋳物に移り、石川島はダット保護自動車の権利とダット自動車の資本を得たのみという結果となった。昭和12(1937)年に自動車工業と瓦斯電の自動車部門が合併し「東京自動車工業」となった。東京自動車工業は戦後いすゞ自動車と日野自動車工業となる。ダット自動車を吸収した戸畑鋳物はその後日産自動車と改称し、米国グラハム・ページ社の製造設備とトラックの設計図一式を購入、トラック、バスの製造に乗り出した。豊田自動織機も自動車製造に参入し、昭和12年にトヨタ自動車を設立、乗用車、トラック、バスの製造を開始した。

4.3 部品工業の勃興

国産車と輸入組立(ノックダウン)車の生産数量比較を表4.3に、輸入完成車とノックダウン車の生産数量の推移を表4.4、大正から昭和初期にかけての国内保有台数の推移を表4.5にそれぞれ示す。昭和11(1936)年の国産自動車生産量はノックダウン車の3分の1に満たないとは言え、昭和2年の4倍まで伸びている。国産車にしる、ノックダウン車にしる、国内生産の伸びは保有台数の増加をもたらし、それに伴う補修部品(サービスパーツ)の市場が大きくなっていった。補修部品で一番需要が多いのは走行により確実に消耗する消耗部品である。当初輸入に頼っていたタイヤは、単価が高く、大きく輸送コストもかかるため、最初期に補修部品としての国産化が始まったものの一つである。市場の拡大と共に補修部品は純正部品よりも廉価な、いわゆるイミテーション部品(現在ではこのような言い方はせず「純正部品」に対する「優良部品」という表現に統一されている。しかし当時優良部品という呼び名は別の意味に使われているので社外部品という言葉を使う)が次第に市場に出回るようになってきた。

これらの社外部品は当初は「安かろう、悪かろう」の代名詞のように言われたが、純正部品の不足を補っていく中で、次第に品質の良いものが出てきた。日本

フォードや日本 GM は一部の優秀な社外部品の中で自社の試験基準に合格するものを純正品として採用するようになった^(注8)。

表 4.3 国産車と輸入組立車生産数量比較 (単位台)

年次	国産車			輸入組立	合計
	普通車	小型車	計		
昭和2年	302		302	*10,000	10,302
昭和3年	433		433	*23,000	23,433
昭和4年	437		437	29,338	29,775
昭和5年	458		458	19,678	20,136
昭和6年	434		434	20,109	20,543
昭和7年	696	144	840	14,087	14,927
昭和8年	1,055	557	1,612	15,082	16,694
昭和9年	1,335	1,366	2,701	33,458	36,159
昭和10年	1,181	4,174	5,355	30,787	36,142
昭和11年	2,516	6,633	9,149	30,997	40,146

(出典 中村静治「日本自動車工業発達史論」昭和28年 P88、*印は推定)
(輸入組立数は表 4.4 とは出典が異なるため若干差がある)

表 4.4 昭和初期の輸入車、輸入組立車推移 (単位台)

年次	完成車輸入	輸入組立車			
		フォード	GM	クライスラー	合計
大正14年	1,765	3,437			3,437
昭和元年	2,381	8,677			8,677
昭和2年	3,895	7,033	5,636		12,669
昭和3年	7,883	8,850	15,491		24,341
昭和4年	5,018	10,674	15,745	1,251	27,670
昭和5年	2,591	10,620	8,049	1,016	19,685
昭和6年	1,887	11,505	7,478	1,201	20,184
昭和7年	997	7,488	5,893	760	14,141
昭和8年	491	8,156	5,942	998	15,096
昭和9年	896	17,244	12,322	2,574	32,140
昭和10年	934	14,865	12,492	3,612	30,969
合計	28,738	108,549	89,048	11,412	209,009

(出典 日産自動車 30 年史)

表 4.5 日本の大正から昭和初期の自動車保有台数 (単位台)

年次	乗用車(含バス)	トラック	合計
大正5年	1,642	24	1,666
大正6年	2,647	25	2,672
大正7年	4,491	42	4,533
大正8年	6,847	204	7,051
大正9年	9,355	644	9,999
大正10年	11,228	888	12,116
大正11年	13,483	1,383	14,866
大正12年	10,666	2,099	12,765
大正13年	17,939	6,394	24,333
大正14年	21,002	8,162	29,164
昭和元年	27,973	12,097	40,070
昭和2年	35,775	15,987	51,762
昭和3年	44,660	21,719	66,379
昭和4年	52,829	27,541	80,370
昭和5年	57,827	30,881	88,708

(出典 日産自動車 30 年史)

この事は次第に日本の中にも部品工業が発達してきたことを意味している。これらの部品メーカーは昭和初めの世界恐慌で下がった外国為替相場と低賃金による低廉な製品価格を武器に南洋諸地域、オーストラリア、南米に輸出するようになった。しかし、欧米が自国の経済圏に保護関税を課すなどの処置をとったためにその状況は一転した。しかも日本のメーカー同士の乱売による価格の低下も加わって海外輸出は困難な状況におちいった。この反省から昭和9(1934)年頃に部品メーカーの間に部品の優良(高品質)化を図り、売上げを確保しようという機運が持ち上がってきた。これには部品メーカーの製造した高品質な部品を集めて組み立てれば、国産大衆車の組立が可能ではないかというもう一つ目論見もあったという。しかし生産ラインの具体策もなく、単に部品を集めて車を作るというのでは成果を上げることなく潰えさってしまった^(注8)。部品の優良化を図るという精神は後に引き継がれていくことになる。

昭和12(1937)年の盧溝橋事件から始まった日中戦争で露呈した国産車の性能不良が喫緊の課題として急浮上、昭和13年3月商工省令第9号「優良自動車部品及自動車材料認定規則」が告示され、優良化運動は官主導の動きとなって加速されることになった。

同規則の趣旨は

- 1) 自動車製造業の発達に資するため自動車製造事業施行令第1条第1項の自動車用部分品または材料にして品質、性能共に優秀なるものは優良品として認定する。
- 2) 認定は申請者に限り、毎年6月および12月にこれを行う。

の2項である^(注9)。第1回認定は昭和13年(1938)年6月30日発表され26品目47社が認定され、それ以後昭和16年(1941)年12月末までに百数十社が認定されている。

ブレーキに関しては、油圧制動機(液圧ブレーキ)とブレーキライニングの部門が取り上げられている。

油圧制動機では昭和13年に大塚製作所(東京)、瓦斯電の計器部門が分離独立した東京機器工業(後トキコ、現日立製作所オートモーティブシステムグループ、以下トキコと略す)、日本エヤーブレーキ(後ナブコ、現ボッシュ、以下ナブコと略す)の3社が認定されている。

ブレーキライニング部門は昭和13年に曙石綿工業(現曙ブレーキ工業、以下曙ブレーキと略す)、ダイヤモンド石綿工業(曙石綿工業が昭和19年に吸収合併)、昭和14年に日の出石綿工業、三泰石綿工業がそれぞれ

れ認定されている。そのほかの部門では日立製作所、東京芝浦電機、ブリヂストン、横浜護謨製造（現横浜ゴム）、プレス工業、東京ラジエーター製作所、泉自動車（現マレー・エンジン・コンポーネンツ・ジャパン）、理研ピストンリング、日本特殊陶業（NGK）、小糸製作所など今を時めく錚々たるメーカーが認定されている。

4.4 初期の日本のブレーキ

ごく初期の日本の自動車用ブレーキは、T型フォードと同じようなトランスミッションの出力側に設けた外部収縮式センターブレーキか、後2輪に装着した機械式外部収縮型ドラムブレーキで、ブレーキライニングは輸入品に頼っていたと思われる。ペダル、リンケージ、ドラムブレーキ、センターブレーキなどのブレーキ機構部品の製造は自動車メーカー内か、外部の加工業者に頼んで製造し自社工場内で組み立てたものと思われるが、明確な記録は残っていないので推測の域を出ない。図4.1に示すのは昭和3(1928)年に瓦斯電が取得した「セルフエナジードサーボブレーキ」というカム作動の「サーボブレーキ」の特許である。このブレーキは瓦斯電の「TGEトラックに用いた」と、この特許図面と共に日野自動車技術史^(注10)に記載されている。

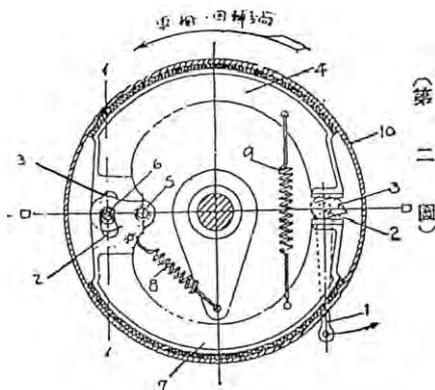


図4.1 昭和3年登録の瓦斯電の機械式ブレーキの特許^(注10)

ブレーキ部品産業も当初は補修部品の市場から発達してきたのは間違いない。ブレーキライニング（摩擦材）は機械式ブレーキの当初からニーズはあったはずであるし、液圧ブレーキが導入されるとシリンダに使われているゴムシール（ゴムカップ、ピストンシールなど）、ブレーキ液が消耗品としての市場が形成されてきた。

昭和13(1938)年には、ひまし油をダイアセトンアルコールで溶解した当時としては沸点が高く良質のブ

レーキ液を供給するメーカーがでてきた。ゴムカップは大きくても直径40mm厚さ10mm程度のものであり、単価も安く輸入しても輸送コストはかからないので当初は輸入に頼っていたが、輸入が制限されて手に入れ難くなってきた昭和14(1939)年頃には、保有台数の多い輸入組立車の社外部品が出回るようになった。当時良質な天然ゴム素材の入手が困難で、配合技術もなく耐熱性など十分なものではなかったと思われる。

先にも触れたが、瓦斯電は昭和7(1932)年の標準自動車の設計にあたり液圧ブレーキの研究を始めた。液圧ブレーキは1932年当時アメリカでも最先端技術でキャデラックでさえ機械式ブレーキであったのである。当初は「ロッキードをモデルに」分解、スケッチから始めた。開発着手時は海外品と同等のゴム材料もブレーキ液もなく鋳鉄製シリンダとアルミ合金鋳物製ピストン、リターンズプリングなど金属部品は自社内で製造できたがゴムカップやブレーキ液はアメリカ製品を使用し、昭和10(1935)年から標準車用として製造を始めた^(注11)。瓦斯電は昭和12(1937)年に計器部（航空機用品、自動車用品、車両用品、計器類）を分離独立させ東京機器工業（トキコ）となり、ブレーキの開発も移管された。昭和14(1939)年頃には後述するようにカップやブレーキ液も国産で良質のものができ、完全な国産の液圧シリンダを「いすゞ（車名）」、日産、トヨタ向けトラック用に供給するようになった^(注12)。「いすゞ」向け（図4.2）はボックス型と呼ばれるタイプでロッキード特許（USP1,758,671）にそっくりである。日産向け（図4.3）はコンビネーション型と呼ばれる全てインチサイズである。日産向けがインチサイズであるのは、アメリカのグラハム・ページ社の生産設備とトラックの図面一式を購入しそのまま国産化したからと思われる。日産車のグラハム・ページ車のマスターシリンダも別のロッキード特許（USP2,034,915）の図に酷似している。いずれにせよ、当時特許についてどのように処理していたのかは分からないが、少なくとも戦前にロッキード社もしくはその権利を買ったベンディックス（Bendix）社等と何らかの契約をした形跡はない。

ホイールシリンダ（図4.4）はリーディング・トレーリング型のドラムブレーキ用で、ブレーキシューを両側に押し広げる役目を果たすだけの単純な形である。

4.5 戦時体制下の自動車生産

昭和10(1935)年商工大臣名で発表された「自動車工業確立要綱」では「(1)普通自動車の一定数量以上の組立または主要部品の製造事業は許可事業とする。(2)許可を受ける者は、株式の過半が日本人または日本の法令によって設立された法人で、議決権の過半数が日本人である株式会社に限る」とされ、日本フォード、GMの締め出しを狙ったものであった。この要綱に沿った「自動車製造事業法」が昭和11(1936)年7月施行された。これに基づき、まず日産とトヨタが許可会社に指定された。瓦斯電や自動車工業は本来軍用規格車を製造する会社であるため、この法律の制約を受けないのであるが、前述の様に、許可会社となるべく合併して東京自動車工業となった^(注14)。この会社が後ゼーゼル自動車工業と改称の上、軍用特殊車両専門の日野製作所を分離し許可会社となったのは昭和16(1941)年になってからである。昭和11(1936)年11月には、輸入税を全面的に改定し完成車を従価税50%から70%に、部品についても国産工業確立のための必須品目を決め大幅なアップを強行、ことにエンジンは従価税35%から60%に引上げられ、米国ノックダウン車に大きな打撃を与えた。

昭和14(1939)年に日本フォード、GM共に生産を打ち切った。昭和11年～昭和20年の戦時体制下における自動車生産数を表4.6に示す。太平洋戦争に突入した昭和16(1941)年は普通車の生産はピークとなるが、その後漸減し敗戦の年昭和20(1945)年には7千台弱と激減する。

表 4.6 戦時体制下の自動車生産数

年次	普通車			小型車
	トラック・バス	乗用車	合計	
昭和11年	5,004	847	5,851	6,335
昭和12年	7,643	1,819	9,462	8,593
昭和13年	13,981	1,774	15,755	8,633
昭和14年	29,233	858	30,091	4,425
昭和15年	42,073	1,633	43,706	2,335
昭和16年	42,813	1,065	43,878	2,620
昭和17年	37,653	1,362	39,015	不明
昭和18年	25,174	522	25,696	不明
昭和19年	21,434	19	21,453	309
昭和20年	6,723	0	6,723	3

出典 中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 P16

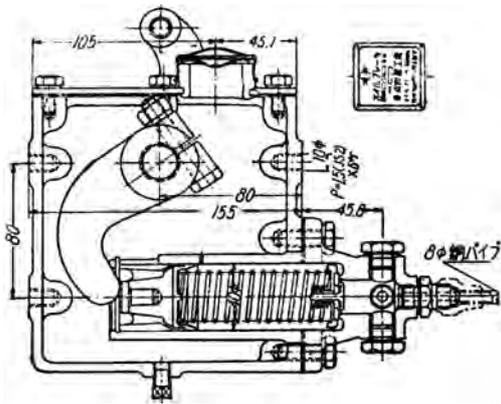


図 4.2 いすゞ車用マスターシリンダ (シリンダ径 40mm) ^(注12)

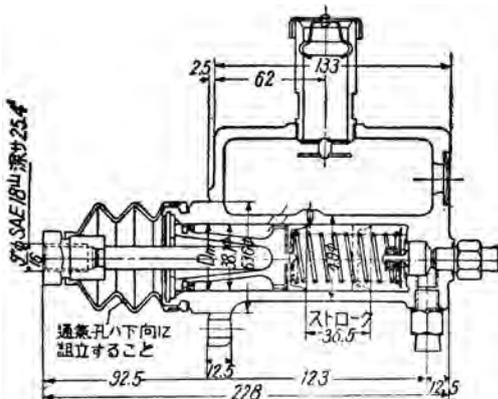


図 4.3 日産トラック用マスターシリンダ ^(注12)

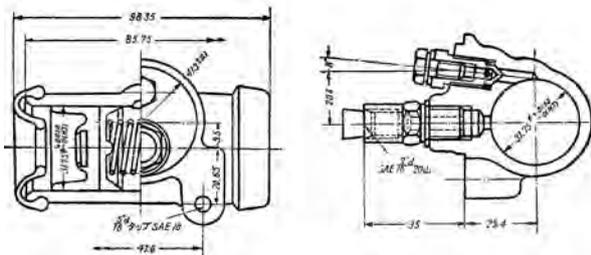


図 4.4 日産車用ホイールシリンダ ^(注12)

当時ホイールブレーキは自動車メーカーが社内で組み立てていたので、部品メーカーが供給したのはライニング、液圧シリンダ類、ブレーキホース(耐圧ゴムホース)、配管用チューブ類であった。

液圧ブレーキ用のシリンダは瓦斯電の流れをくむトキコの他にウェスチングハウスからエヤーブレーキ技術を導入し鉄道車両用のエヤーブレーキの国産化を図っていたナブコ社もアメリカ ワグナー社の液圧シリンダを手本に昭和8年頃から開発に着手し昭和10年頃には生産を始めた^(注13)。マスターシリンダの形式はトキコの日産向けロッキード型コンビネーション型マスターシリンダとほぼ同一形状である。

(引用文献)

- (注1) 佐々木烈 「日本自動車史」 平成16年 三樹書房 第6章 P107
- (注2) 中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 有斐閣 P128
- (注3) GP 企画センター編 (桂木洋二) 「日本自動車年表」 P9～P15
- (注4) 日産自動車30年史 第1節「快進社」 P3を要約し引用。
- (注5) 中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 有斐閣 P130 軍用保護自動車は大正7年3月に成立した「軍用自動車補助法」に基づく軍用自動車保護法案でその法案の詳細は、岩崎松義著「自動車工業の確立」昭和16年 P32-100に掲載されている。
- (注6) 尾崎正久「日本自動車史」昭和17年 P267-269より筆者が作成
- (注7) 島秀夫遺稿集「国産標準自動車の設計に就て」(社)日本鉄道技術会 平成12年 P80の第1表B「車台の仕様」から筆者がブレーキ部分を抜粋し作成した(なお本遺稿は「機械学会誌」昭和7年7月号に掲載された論文を転載したものである)。
- (注8) 柳田諒三「自動車30年史」昭和19年 P115-17から
- (注9) 同上 P439
- (注10) 日野自動車技術史「写真編」平成5年 P1-36 (第一次資料は「モーター」誌昭和5年1月号)
- (注11) トキコ50年史 P7
- (注12) 渡辺七郎「自動車用オイルブレーキ」昭和19年山海堂理工学論叢 p14-19
- (注13) ナブコ社史70年史 P155
- (注14) 中村静治「現代自動車工業論」昭和58年 P150

(参考文献)

- ・尾崎正久 日本自動車史 昭和17年 自研社
- ・柳田諒三 自動車30年史 昭和19年 山水社
- ・天谷章吾 日本自動車工業の史的展開 昭和57年亜紀書房
- ・中村静治 日本自動車工業発達史論 昭和28年 勁草書房
- ・中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 有斐閣
- ・岩崎松義 自動車工業の確立 昭和16年 伊藤書店
- ・GP 企画センター編 (桂木洋二) 日本自動車年表 平成18年 グランプリ出版
- ・中沖満 国産トラックの歴史 グランプリ出版 平成17年
- ・佐々木烈 日本自動車史、同II (2冊) 平成16年三樹書房
- ・渡部七郎 自動車用オイルブレーキ 昭和19年山海堂理工学論叢
- ・いすゞ自動車社史
- ・トヨタ自動車社史 (30年史)
- ・日野自動車社史 (50年史)
- ・トキコ社史 (30年史、50年史)
- ・ナブコ社史 ((50年史、70年史)
- ・ダイハツ社史 (ダイハツ100年の歩み)

5 | 戦後の自動車工業の発達とブレーキ部品工業

5.1 戦後の自動車業界の位置づけ

戦後の自動車生産台数（オート3輪を除く）推移を図5.1に示す。敗戦当初、自動車生産は僅かな数量のトラック生産が許可されたのみで、乗用車の生産は昭和22(1947)年6月までは許されなかった。昭和20(1945)年代初期の復興期、昭和25(1950)年から始まった朝鮮特需を通していても、日本の自動車生産は微々たるもので、昭和28(1953)年には戦前の最盛期の数量は超えたと言っても、米国の生産台数の1%にも満たない台数であった。その少ない生産の中で戦後復興に寄与できる普通トラックの生産が優先された。普通乗用車は、個人向けはほとんどなく、タクシー需要がほとんどであった。タクシーは当時の道路事情もあって稼働率を優先するため、乗り心地よりも頑丈さが優先されたので、ほとんどのものがトラックのシャシーに乗用車のボディーを架装したものに過ぎなかった。

戦争直後の米国の自動車メーカーは、戦争中乗用車の生産がストップしていたため戦後の買い換え需要が増大した乗用車の米国内需要向けの生産に手一杯であった。このため米軍、英連邦軍などの進駐軍向けの軍用車は本国からの調達に困難であったこと、日本までの輸送コストを考えると、米軍が戦争中に南方の戦場に放置してきた破損車両の再生生産を行うことや、新車の調達を日本国内で行う方が有利であったことなどから、特に朝鮮戦争勃発以降はかなりの数量の普通トラックや軍用車が米軍を主体とする国連軍や米軍の抜けた後を補完した今の自衛隊の前身として発足した警察予備隊向けに生産された。再生生産というものは、中には全損に近い車両を「バラバラに解体して新たに組み立てる必要がある」のであった。部品を洗浄補修再生し、摩擦材、ゴムシール、タイヤなどの消耗部品はもちろん、中には再生不可能な部品をプレス、鍛造、鋳物などから新製して組み立てた。ほとんど新車の生産工場と同じような規模のものであったという^(注1)。現在の日産追浜工場の場所にあった富士自動車（現在の富士重工や日産自動車とは全く関係のない会社）が再生生産を担当した。このような自動車の注文は単に戦後の不況期に経済的に潤っただけではなく、米軍の厳しい検査規格による完成車や部品の検査を通して統計的品质管理手法を学び取っていったのである。また、米軍からの注文で修理、製造した車両の技術には当然

米国メーカー（車両や部品の）の特許やノウハウが含まれていたが、終戦直後は日本への特許出願はなく、また米軍納入用であったので不問にされたようである。この技術がその後の部品メーカーの技術的な財産になったのは間違いない。

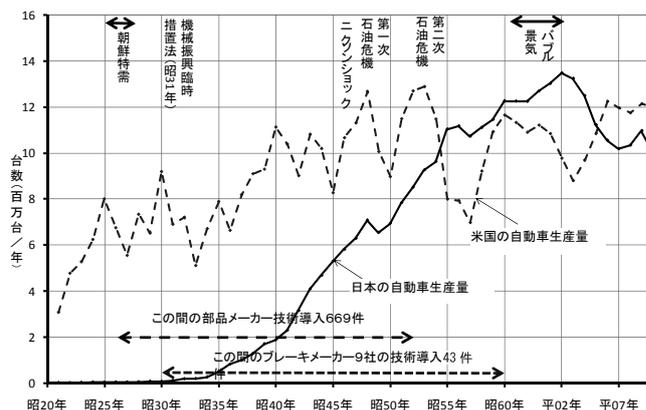


図 5.1 戦後の日米自動車生産台数比較^(注2)

5.2 海外メーカーとの提携

日中戦争が始まった昭和12年に海外との技術交流がほぼ不可能となった時点から、戦後米ソの東西対立を背景に占領軍総司令部（GHQ）の対日政策が変化する昭和23年まで10年以上にわたって世界の自動車技術の進歩から取り残された日本の自動車工業にとっては海外技術の導入は必須の要件であった。昭和20年代後半からの完成車メーカーの自動車技術導入の状況を表5.1に示す。

表 5.1 自動車メーカーの技術導入状況

自動車メーカー	日産自動車	日野チーゼル工業	いすゞ自動車	新三菱自動車
提携先	オースチン(英)	ルノー(仏)	ルーツ・モーター(英)	ウィリス・オーバーランド(米)
技術援助内容	オースチンA40サマーセットの製造	ルノー4CVの製造	ヒルマン・ミンクスの製造	4輪駆動車特にジープの製造
許可年月日	昭和27年12月	昭和28年3月	昭和28年3月	昭和28年9月
契約期間	7年	7年 (2年ごとに更新)	5年	5年
市場制限	輸出は禁止	同左、 ただし協議による	輸出は禁止	東半球のみ
延べ生産台数	21,261台	24,972台	18,203台	21,460台

出典 自動車年鑑（1954年版）、ただし延べ台数は自動車工業会資料
その他に構想程度を含めて交渉のあったものが7件あった。

昭和25(1950)年に公告された米国ペンディックス社のLT型ドラムブレーキの特許公告昭和25-4254のように、工業所有権戦後措置令により優先権が昭和19(1944)年にまで遡って登録され、日本の自動車メー

カーや部品メーカーに特許への抵触性を警告するという事例が発生した。この特許はこのころ生産を考えていた乗用車用の後輪用ドラムブレーキのほとんどが抵触すると考えられたもので、米国の大企業からの警告は日本中の自動車メーカーやブレーキメーカーを震撼させた。戦中、戦後の混乱期に日本に出願されていなかったものが忽然と生き返って登録されたのであるからその当時の技術者の困惑が想像できる。自動車メーカーも部品メーカーも海外メーカーとの技術提携を考えざるを得なくなっていたのである。

そのような中で機械工業一般の設備の近代化を目標に昭和31(1956)年に機械工業振興臨時措置法が制定された。同法のもっとも手厚い助成を受けたのは自動車部品工業であった。具体的には昭和31(1956)年から昭和34(1959)年までに約80品目、延べ65社に日本開発銀行(現日本政策投資銀行)から融資が行われ、自動車部品工業の設備投資(そのほとんどは海外からの輸入)と設計、製造技術の導入が図られた^(注3)。

ブレーキ部品メーカーの技術導入状況を表5.2(導入年代別)、表5.3(導入相手国別)に示す。ブレーキ部品の技術導入は昭和30年頃から始まり、昭和40年代にピークを迎え、平成に入ってからABSなどの技術導入は続いた。導入相手国は米国が第1位で、イギリスが続く。

表5.2 ブレーキ各社の年代別技術導入状況(単位:件)

技術導入年代	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	J社	合計
昭和30年代	3	1	1		2	1			1	9
昭和40年代	4	2	3	2	1	1			2	16
昭和50年代		1		1	3	3	1		3	13
昭和60年以降					2	1			2	5
合計	7	4	4	3	8	6	1		8	43

表5.3 ブレーキ各社の相手国別技術導入状況(単位:件)

導入相手国	A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社	H社	J社	合計
アメリカ	5		1	3	4			6		19
イギリス	2	4	3		1	3			2	15
ドイツ					1	3				4
フランス					2		1	2		5
合計	7	4	4	3	8	6	1	8	2	43

(表5.2、5.3は各社の社史などから筆者がカウントし作成した)

表5.4 自動車部品メーカーの技術導入状況(単位:件)

相手国	米	西独	英	仏	その他	合計
昭和26年-30年	2	6	0	0	0	8
昭和31年-40年	37	10	15	1	3	66
昭和41年-50年	279	68	62	24	61	494
昭和51年-52年	47	14	14	4	22	101
計	365	98	91	29	86	669
比率	54.6%	14.6%	13.6%	4.3%	12.9%	100%

出展 現代自動車工業論(中村静治)^(注4)

表5.4は昭和52年までの自動車部品メーカー全体の技術導入状況である。やはり昭和40年代がピーク

で導入相手国はアメリカが半分以上を占め、次いで西独、イギリスの順が多い。自動車部品全体で昭和26年から26年間に669件の技術導入という件数の多さに驚くが、この事は戦前から敗戦直後までは日本の自動車産業が未発達なため、部品メーカーが十分に育成されていなかったことを端的に示しているように思われる。先にも述べたように一部の自動車メーカーはいち早く昭和20年代後半に海外技術の導入を図ったが、部品メーカーは取り敢えず自動車メーカーの主導で部品の製造を始めた。

自動車メーカーが昭和30年代半ばに100%国産化を達成し独自車両開発を始めた頃から、部品メーカーも自らの設計、製造技術の向上を迫られたのである。ブレーキ技術とは端的に言えば100km/hrを超す高速からあらゆる路面で安全かつ安定して制動する技術である。

日本には昭和38年に栗東-尼崎間に開通した名神高速道路まで本格的な高速道路はなかったし、地方に行けば舗装された道路さえも少なかったのであるから、悪路走行に強い低速頑丈な自動車は作れても、高速性能を競い合うカーレースや、アウトバーンやフリーウェイという高速道路が張り巡らされ日常100km/hr以上の走行が普通の欧米の持つ制動技術はその当時の日本には育ちようがなかった。

5.3 独自技術の確立と海外進出

昭和40(1965)年頃までに乗用車の量産体制を整えた自動車メーカーは、対米輸出を主体とする海外マーケットをターゲットに、より厳しい品質レベルを部品メーカーに求め、ZD(Zero Defect)運動、TQC活動など品質改善活動を活発化していった。この運動は欧米流の統計的品質管理の常識を超えて、不良は「0(zero)」が当たり前、あっても一桁のPPMオーダーしか許されないという厳しい品質向上競争が展開された。

昭和40年代初期アメリカの活動家ラルフ・ネーダーの問題提起に端を発するリコール問題も絡み合っ、国内で展開されたこのような競争は部品メーカーがそれと気がつかぬ間に世界で最高レベルの品質を達成していた。このような高品質でさらに低燃費の日本車の対米輸出は第一次、第二次オイルショックを経て集中豪雨的に増加、日本車たたきを招くことになる。やがてこの事はカーメーカーの対米進出を促し、さらにそれに伴われて部品メーカーの海外進出が始まることになった。

技術提携を結んだ製品はほとんどの場合、ロイヤルティを支払うだけでなく輸出が制限され、車両に組み付けられた部品、およびその補用品（サービスパーツ）以外の輸出は認められていない。また、海外進出も日本車対応だけに限られることになっていた。このためブレーキの開発技術は海外メーカーを凌駕するとはまでは言えなくても肩を並べるまでに成長してはいたが、昭和50年に至っても、特許で押さえられた技術の存在が技術提携を解消することを阻み、外国の自動車メーカーへの輸出や進出工場からの納入はできにくい事情があった。しかし昭和50年代にほぼ主要な技術提携を解消すると日本のブレーキ部品メーカーは、海外メーカーと競合する中で、ブレーキ部品を含む自動車部品を次々とビッグ3から受注を勝ち取ることになる。そのころには日本の自動車生産はアメリカを追い越し世界一までのし上がっていたのは図5.1（P18）に示すとおりである。

しかしアンチロックブレーキシステム（ABS）やエレクトロニクススタビリティコントロール（ESC）と言った電子制御を駆使する分野である先端技術で欧米と肩を並べ、凌駕するところまでは行くにはまだ時間を要したのは、大衆が100km/h以上の高速で縦横無尽に走り回れる環境が国内になかったことに起因すると考える。

5.4 日本自動車部品工業会での外国部品研究調査活動

（社団法人）日本自動車部品工業会は昭和13（1938）年全国自動車部分品工業組合連合会として設立され、昭和23（1948）年に（任意団体）自動車部品工業会、その後昭和44（1969）年に改組して社団法人日本自動

車部品工業会として発足した業界団体で、技術に関しては外国自動車部品の研究、規格統一、単純化、JIS化、ISO対応などの活動を行い部品業界の技術水準の向上を図っている。ブレーキ技術に関する活動では昭和29（1954）年より昭和37年までは「ブレーキシリンダ委員会」として、昭和38（1963）年からは「ブレーキシリンダ技術員会」として活動し、機械工業振興資金の援助を受けて「外国自動車部品研究」に協力し昭和29年度から昭和51年度まで断続的に11回のブレーキ部品の調査を行い、外国の技術水準を調査研究し国内技術の向上に資してきた（表5.5）。

昭和29年度の米国の自動車の調査報告書を見ると「大量生産品で、複雑な鋳物型やダイキャスト、プレスなどを多用しているが、国内では少量生産のために原価高になり、そのままでは国内に適用できない技術が用いられている。しかし材質や加工精度などはほぼ国内と同様」と評価している^{（注5）}。この評価は調査研究の対象になっている車が1939年式から1952年式とやや古いことに原因しているのかもしれない。昭和39年度のドイツフォードのタウンズ12Mの報告書に部品工業会鈴木技術部長の書いた総論には「国産部品に比較し、極端に過剰品質を排除したものであり、その設計上の中心的な考え方は生産性を十分に意識したもので、いかに部品を実用範囲内で安く作るかという観念に徹した、しかも新技術が多く取り入れられているものである」^{（注6）}と評価している。まだ生産数が少なかった当時の国内事情が垣間見られる。

昭和51年度のGMシベットを最後にこの研究は打ち切られた。

表 5.5 日本自動車部品工業会による外国自動車部品の研究

回	年次	内 容	回	年次	内 容
1	昭和29(1954)年度 ～昭和30年度	米GM、フォード、クライスラー用部品研究	7	昭和39(1964)年度	英フォート”コルチナ”用部品研究
2	昭和34(1959)年度	米ダッジおよびフォードのトラック用の部品研究	8	昭和40(1965)年度	西独フォルクスワーゲン用部品研究
3	昭和35(1960)年度	米フォード”ファルコン”、クライスラー”バリエント”、GM”コルベット”の部品研究	9	昭和45(1970)年度	米フォード”マベリック”用部品研究
4	昭和36(1961)年度	伊フィアット600D用部品研究	10	昭和46(1971)年度	米GMシボレー”ベガ”用部品研究
5	昭和37(1962)年度	英モーリス1100用部品研究	11	昭和51(1976)年度	米GM”シベット”用部品研究
6	昭和38(1963)年度	西独フォード”タウンズ”12M用部品研究			

（日本自動車部品工業会所蔵の報告書および同会ブレーキシリンダ技術委員会編集の「自動車用液圧ブレーキシステム（改訂版）」より筆者が整理作表した）

(引用文献)

- (注1) 山本惣治 日本自動車工業の成長と変貌 昭和36年
三栄書房 P238
- (注2) 自動車工業会 「自動車統計月報」のデータを使用し
筆者が作成した。
- (注3) 中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 有斐閣
P254
- (注4) 中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 有斐閣
P384 表7-3より
- (注5) 自動車部品工業会編 「外国自動車部品研究報告書
(昭和29～30年度)米GM、フォード、クライスラー
部品研究」及び「ブレーキ用親シリンダー及び車輪
シリンダー編」結論P13から筆者が一部加筆修正し
た
- (注6) 自動車部品工業会編「外国自動車部品研究報告書(昭
和38年度)」 「西独フォードタウナス12M用部品
研究」 2総合所見P5より一部筆者が加筆修正した

(参考文献)

- ・山本惣治 日本自動車工業の成長と変貌 昭和36年三栄書
房
- ・中村静治 現代自動車工業論 昭和58年 有斐閣
- ・奥村正二 「世界の自動車」 岩波新書 1964年
- ・天谷章吾 「日本自動車工業の史的展開」 昭和57年亜紀書
房
- ・自動車部品工業会編「外国自動車部品研究報告書・昭和29
～30年版」～「昭和51年版」まで11冊
- ・アイシン精機社史、曙ブレーキ工業社史、鬼怒川ゴム社史、
住友電工社史、自動車機器社史、日清紡社史、トキコ社史、
豊田合成社史、ナブコ社史より各社の技術提携契約状況と
導入の経緯の記述を参考にした。

6 | ブレーキの構成要素別技術発展

6.1 液圧ブレーキおよび4輪制動について

この稿で取り上げるのは現代の液圧ブレーキに関する技術発展の経過とし、日本における戦前から戦争直後に用いられた機械式ブレーキについては触れない。

システム構成要素個別の説明に入る前に、液圧ブレーキシステムで忘れてはならない米国人マルコム・ロッキード (Malcolm Loughead) の発明した液圧ブレーキシステムについて少し詳しく触れたい。3章で述べたようにロッキードは大正6(1917)年に「Braking Apparatus」と言う米国特許(図3.6 p10)を取得した。これは車輪に装着されたブレーキ自体は外部収縮式ドラムブレーキであるが、運転者の操作力の各車輪ブレーキへの伝達を液圧で行うとした最初のものである。

その後ロッキードは1923年に米国SAE (Society of Automotive Engineers)で「Hydraulic Four-Wheel Brake」と題してSAE Paper (論文)を発表している^(注1)。当時メカニカルブレーキは、操舵作動を伴う前輪への装着が困難であり、またフロントブレーキの危険性を過大視し、後輪のみのブレーキが安全だと信じられていた。そのため前後4輪にブレーキを装着することはまれであった。論文によると、液圧ブレーキはフレキシブル耐圧ゴムホースを用いることにより極めて容易にフロントにも装着でき、かつ4輪均一に制動できるので安全であると結論づけている。しかし、現代では信じがたいことだが、フロントブレーキを追加した4輪制動は、ブレーキの設計が不適切であると、フロントロックを生じ操舵性が失われること、4輪の制動でブレーキが効き過ぎで後続車の追突を招くことの危険性などの外的なことを言っている。

乗車人員(積載量)変動による前後輪の負担荷重の変化や重心位置に働く減速度で後輪から前輪への荷重移動に言及しながら、ロッキードはフロントとリア全く同一のブレーキにすべきと、ここでも今の常識では考えられない結論に達している。この発表の後1924年1月にニューヨークの自動車ショーでデビューしたクライスラー・シックスが中級量産車として初めて4輪液圧ブレーキを採用した。4輪液圧ブレーキは1921年のデューゼンバーグモデルAが最初だが、少量の生産に止まった。

一般に普及するには、さらに10年以上を要し、

Ford社は1939年まで採用に至らなかった。

日本では標準型トラックおよびバス、トヨタ、日産のトラック・バスは戦前に液圧ブレーキを採用しているが、乗用車ダットサンは、戦後もしばらくはメカニカルブレーキであった。

ロッキードがこの実験に用いた液圧マスターシリンダ、ホイールブレーキを図6.1および6.2に示す。

液圧ブレーキは大変エポックメイキングな発明であったことは疑いようがない。SAE Paper発表以降もマルコム・ロッキードは精力的に工夫を重ね現在でも生きている技術の発明が多くある。

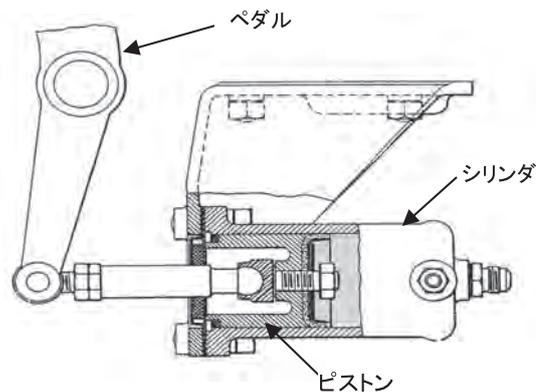


図6.1 ロッキードのSAEシステムのマスターシリンダ。
(SAE Paper 230041) ^(注1)

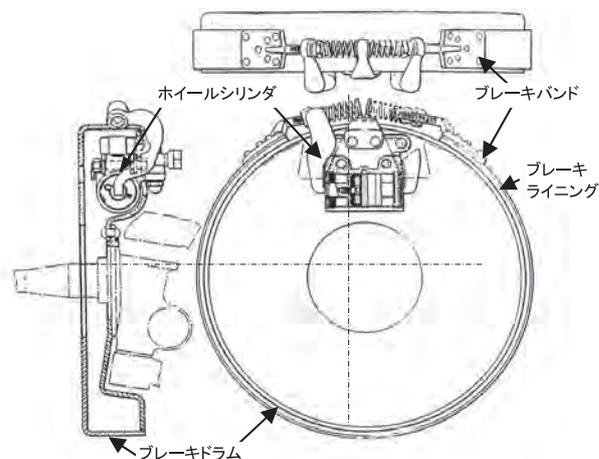


図6.2 SAEシステムの外部収縮式ドラムブレーキ
(SAE Paper 230041) ^(注1)

6.2 マスターシリンダ

(1) マスターシリンダの基本構造と種類

マスターシリンダ (Master Cylinder、この節では MC と略す) は人間の踏力を液圧に変換するブレーキの入り口部分である。ペダル踏力を直接もしくはブースターを介してピストンを押し込み、ブレーキ液を加圧する。また、MC はホイールブレーキの消費液量の増大や、液漏れを補うためにリザーバを持っており、ブレーキ緩め行程でブレーキ系内にブレーキ液を補給する機能を持たせてある。

MC には、①踏力を圧力に変換することと、②ブレーキ液をブレーキ系内に補給できること、の二つが欠くことができない重要な機能である。MC は単一の圧力室を有する、シングルマスターシリンダ (Single Master Cylinder、以下 SMC と略) と、二重安全ブレーキ用として 1 系統が失陥しても、もう一つの系統でブレーキがかけられる様に、一つのシリンダ内に分離された二つの圧力室を有するタンデムマスターシリンダ (Tandem Master Cylinder、以下 TMC と略) がある。現在は二重安全ブレーキが法律で義務付けられているので、自動車用としては TMC しか用いられない。

以下 MC の基本的な構造と作動を、コンベンショナル型の SMC を用いて説明する。

図 6.3 はコンベンショナル型 (ロッキード型とも言う) の MC の断面図である。シリンダ、ピストン、プッシュロッド、プライマリーカップおよびセコンダリーカップと呼ぶゴム製のシール、リターンズプリング、残圧弁等から構成される。シリンダの上部はブレーキ液を溜めておくリザーバである。運転者の踏力はペダルからプッシュロッドを介してピストンを押し込み圧力室内のブレーキ液を圧縮する。加圧されたブレーキ液はシリンダ底部にある残圧弁を通過して各車輪のブレーキに送り出される。

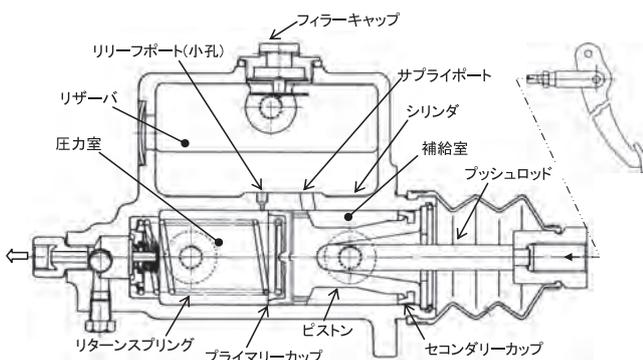


図 6.3 マスターシリンダの断面形状と各部の名称
(図ボッシュ提供)

(a) ブレーキをかけていない状態 (図 6.4 戻り位置)
戻り位置ではプライマリーカップはリリーフポートより下がった位置にあり圧力室をリザーバに開放している。この位置からカップがリリーフポートを閉塞するまでのピストン行程を無効ストローク (S) という。

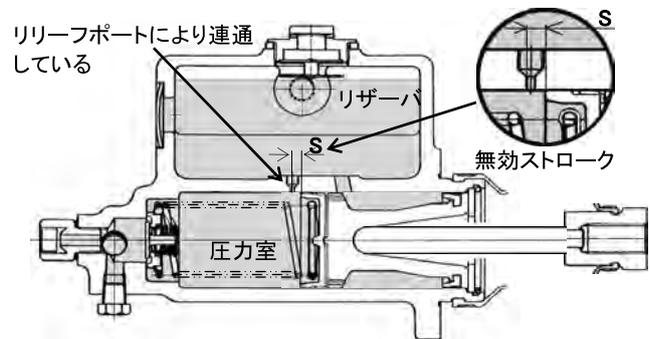


図 6.4 戻り位置 (a)

(b) ブレーキをかけている状態 (図 6.5)

ピストンを押し込むとプライマリーカップがリリーフポートを閉塞し、さらに前進すると圧力室のブレーキ液を加圧し残圧弁を押し開いて配管を經由してホイールシリンダに圧液が送りこみ、ホイールブレーキを作動させる。

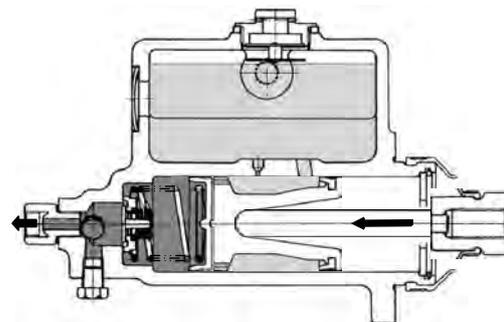


図 6.5 ブレーキをかけている状態 (b)

(c) ブレーキを緩めている状態 (図 6.6)

ペダルを緩めるとピストンが戻り、圧力室が負圧になる。この負圧によりリザーバからサブライポート、補給室、ピストンフランジの小孔、プライマリーカップの背面を經由して圧力室にブレーキ液が補給される。ピストンが戻り位置に戻ったあと時間をおかず再び踏み込むと、1 ストローク以上の液量をブレーキ系へ送り込むことができる。この操作をダブルペダルという。この「ダブルペダル」効果は MC の重要な機能の一つである。

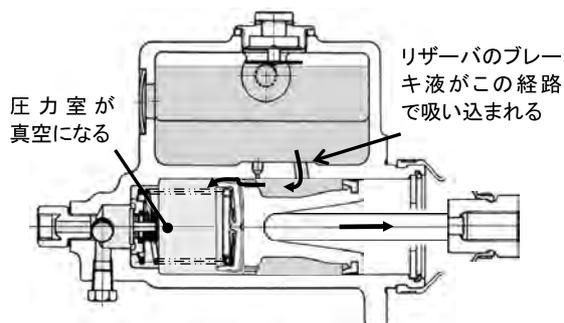


図 6.6 ブレーキを緩めている状態 (c)

(d) ピストンが戻り位置に復帰した状態 (図 6.7)

ピストン戻り行程で系内に補給されたブレーキ液は戻り位置で開放されたリリーフポートを通じリザーバへ戻される。これにより摩擦材の摩耗等により増えた液量を補い、余った液はリザーバに戻され (リリーフ) 余分な残圧をブレーキ系内に残さない様にされている。

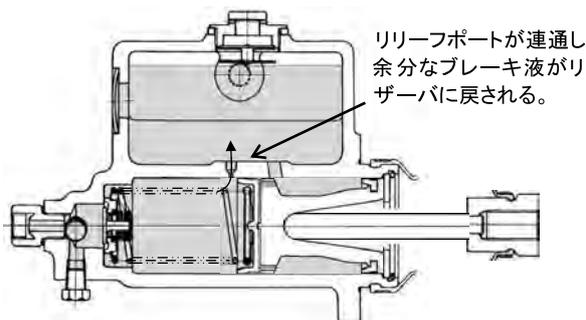


図 6.7 ピストンが戻り位置に復帰した状態 (d)

コンベンショナル型は MC の一番基本的な構造でマルコム・ロッキードの時代の液圧ブレーキから現在に至るまで広範囲に使用されてきた構造である。

弱点であるリリーフポートによるプライマリーカップの傷付きも、シリンダ内面から面取りを施すと言った加工法の進化により最小限に食い止められ、ごく最近まで主流の MC 構造であった。

その後、プライマリーカップがダメージを受けやすいというコンベンショナル型の欠点を回避するために、ポペット弁を使用したセンターバルブ型や、ティルティングバルブ型、プランジャ型などの諸形式が生まれた。

現在では、アンチロックブレーキシステム (ABS) 装着車や、ABS から発展したトラクションコントロール (TCS)、エレクトロニクススタビリティコントロール (ESC) 装着車用として、リザーバからのブレーキ液の供給抵抗を小さくしたピストン側弁シート

方式のセンターバルブ型やプランジャ型の装着車が増えている。

SMC は前述のように自動車用としては使用されていないが、SMC は二重ブレーキに用いる TMC の基本構成部分に使われており、その他の主な構造例を示す。

①プランジャ型 (Plunger 型 図 6.8) (注2)

英ガーリング社が開発した構造である。プライマリーカップをシリンダ側に固定し、プランジャ側に縦溝もしくは複数のリリーフポートによるブレーキ液補給通路を設けたものでプライマリーカップへの圧力室の液圧による悪影響がない。しかしプライマリーカップを固定するためのシール溝を加工することが難しく、シリンダを二分割して溝を形成していた。昭和 30 年発売のトヨタクラウンに採用され、トヨタでは長い使用実績があった。

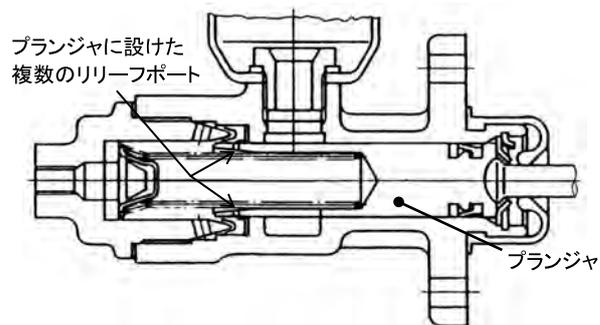


図 6.8 プランジャ (Plunger) 型
 (「自動車用液圧ブレーキシステム」自動車部品工業会刊より)

②センターバルブ (シリンダ側シート CV 型)

シリンダ底部中央にピストンのストロークでリザーバに通じる通路を閉塞、開放するポペットバルブを配置した形式で、カップシールが 1 個で済み、リリーフポートがないのでカップへの悪影響が少ない。無効ストローク (S) を 1mm 程度にできるメリットがある。構造が簡単であるが、外部から異物 (contamination) が入った場合ポペット弁の開閉に悪影響が出易い。英国ガーリング社が開発した構造である。日本ではピストンストロークの初期に圧力が急上昇するクラッチ MC や TMC のセカンダリー圧力室側に採用された。

③センターバルブ (ピストン側シート CV (P) 型 図 6.9)

ポペットバルブをピストン側に配したもので、カップはコンベンショナル型と同様プライマリーカップ、セカンダリーカップの 2 個必要である。リリーフポートがないので Port-less 型とも呼ぶ。構造が複雑でコストがかかり、異物に弱い欠点を有する。センターバルブの弁棒用ストッパを通すためのピストンに設けた

スリ割り部に外部からの土砂が溜まりやすく、その土砂が研磨剤となってシリンダやカップを削りシール不良を起こす可能性もあった。主に日産車で昭和30年代後半から40年代に使用された。最近この構造がABS用などに見直され改良された構造の使用例が増えてきた。

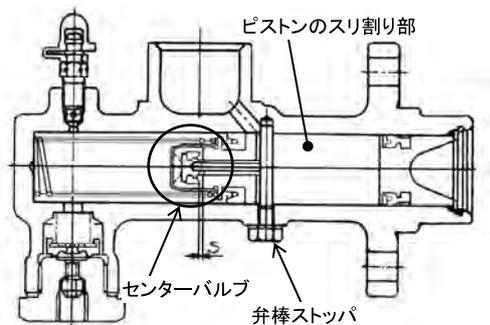


図 6.9 センターバルブ CV (P) 型
(図日立製作所)

④傾斜弁型 (ティルティングバルブ TV 型)

リザーバの下部に傾斜弁を設け、ピストン戻り位置で弁がピストンのフランジ部で開放位置になっており、ピストンの前進で弁が閉塞する構造。カップシールが1個で済み、構造が簡単であるメリットがあるが、外部からの異物にはセンターバルブよりバルブシート面積が大きいことさらに影響を受けやすい。英国ガーリング社が二系統ブレーキ用の TMC のプライマリー側圧力室に使用した例があるが日本での使用実績はない。

(2) 二重安全ブレーキ (二系統配管ブレーキ)

TMC は二重安全ブレーキシステムに用いられる MC の形式である。TMC の説明に入る前に二系統配管ブレーキについて簡単に説明する。

(2.1) 二系統配管ブレーキ

液圧ブレーキが採用され、4 輪装着ブレーキが普及した 1930 年代後半になると、MC やホイールシリンダのシールの損傷や液圧配管の一部が損傷した場合、

全ブレーキ機能が失われてしまうことに危惧を抱く人がいた。この全機能喪失を防ぐ手段として考えられたのが、ホイールブレーキを 2 分割して、2 個の MC を用い、それぞれのブレーキ系へ接続するという二重安全ブレーキシステム (二系統配管ブレーキ) という考え方である。

2 系統配管ブレーキの分割方法には図 6.10 のような 5 つの方式がある。

(A) は前後輪に分割したもので、前後のブレーキ力配分の差が少ないフロントエンジン/リアドライブ (FR) 車に用いられる。フロント失陥時の残存ブレーキ効力が少なくなる欠点がある。

(B) は前後のブレーキ配分の差が大きいフロントエンジン/フロントドライブ (FF) 車に用いられる。その配管の形から X 分割と呼ぶ。1 系失陥時でもブレーキ効力は半分が残る。

(C) と (D) はフロントブレーキを 2 分割し、リアブレーキをフロントの 1 系統と接続するようにしたもので、リアを左右一体で接続したものを配管の形から IH 分割 (C)、左右を別々にフロントの一方に接続したもので J-J 分割 (D) と呼んでいる。フロントブレーキを二分割するのでフロントブレーキの構造が複雑化する。しかし必ずフロントブレーキが半分生き残るので 1 系失陥時の残存ブレーキ効力が大きくなる長所がある。

(E) は前後左右のブレーキを完全に 2 分割したもので構造が複雑となるので高級車に用いられることがある。1 系失陥が失陥してもブレーキ効力の減少は少ない。

(2.2) 二系統ブレーキに用いられる MC

2 個の MC を横に並べ、1 本のプッシュロッドで 2 個の MC を同時に作動させるツインマスターシリンダ形式 (図 6.11) がある^(注4)。2 個の MC の発生圧力を均等化するイコライザー (メカニカルもしくは液圧式) が必要となる。主として (E) 水平分割の方式に用いられる。日産 (旧プリンス自動車の設計) が皇室

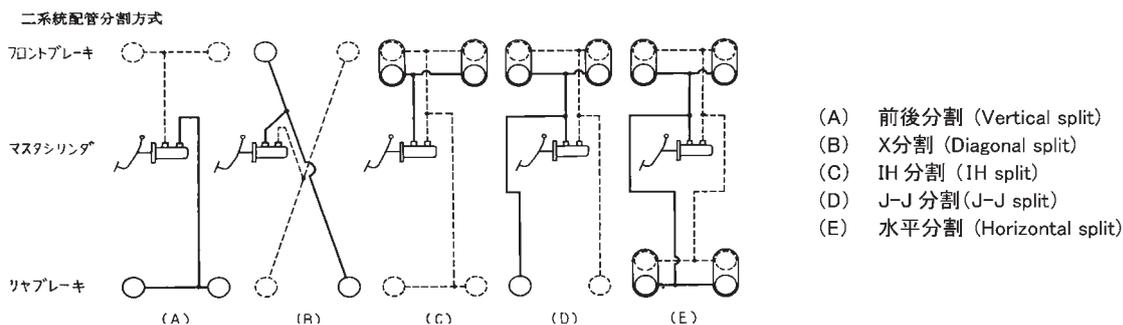


図 6.10 二系統配管ブレーキの分割の仕方 (機械図集ブレーキより)^(注3)

御料車として1967年に製造したプリンスロイヤルや、英国の高級車ロールスロイスはこの方式である。

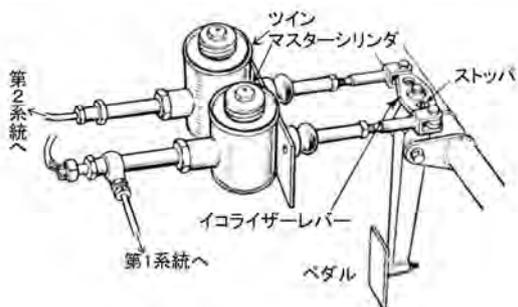


図 6.11 ツインマスターシリンダ
(Brake Dynamics^(注4))

現在一般的に用いられている方式は、一つのシリンダボアの中に2個のピストンをタンデム(串刺し)に並べ、MCの内部に二つの液圧室を設けるいわゆるタンデムマスターシリンダ(TMC)である。

TMCは一つのシリンダがプライマリー圧力室とセコンダリー圧力室に分離されており、おのおのがひとつのMCとなっている。TMCの種類は各圧力室のシリンダ形式の組み合わせで分かれている。通常プライマリー/セコンダリーの順に形式名を並べ区分する。

TMCの登場は1924年のクライスラー・シックスへの液圧ブレーキシステムの量産採用から間もない1928年に米国ベンディックス(Bendix)社から出願された米国特許USP1,943,886にその萌芽が見られる。この特許は現在一般に使用されているものとやや異なる形式で、一方の系の故障時ロスするストロークを最小限にしようとしたものであった。その後も同様のアイデアでいろいろ工夫がなされたが結局実用されなかった。

その後英国オートモーティブプロダクツ(Automotive Products; AP社=英国ロッキード)社が1935年9月に出願した英国特許446,364(図6.12)は、ごく最近まで広く使われていたプライマリー、セコンダリー共にコンベンショナル型のTMCの基本特許で

ある。このAP特許と同様な構造のものが戦後呉に進駐したオーストラリア軍主体の英連邦軍の軍用車両に装着されていたという証言がある(昭和21年頃元トキコのブレーキ設計技師小林四郎氏によると英軍用車にこのようなTMCを供給したとのことである)。英軍用車が世界で最初に二重ブレーキ用のTMCを用いたと思われる。

(3) 日本におけるマスターシリンダの技術的発展

昭和7年の標準型トラック、バスの開発に始まった日本におけるブレーキシリンダ(マスターシリンダおよびホイールシリンダ)の開発は、当時先進技術を有する米国ロッキード社(後ハイドロリックブレーキ社と改称)、ロッキード社の特許を購入した米国ベンディックス社やワグナー社等の製品をスケッチしコピーすることから始まったのは既に述べた。戦後占領軍により制限されていた自動車生産も東西対立、朝鮮戦争勃発を機に占領軍や国連軍向けの特需により戦前の設計を若干手直した状態で生産量が増加してきた。当然のことながらブレーキ自体も戦前の設計を引きずっていた。しかし占領軍の車両には既にTMCを装着した二系統ブレーキ、ライニング摩耗自動調整装置のついたサーボ型ドラムブレーキやノンサーボ型ドラムブレーキ、真空倍力装置等が採用されており、彼我の技術格差は大きなものがあった。

戦前から液圧ブレーキシリンダを手がけていた、トキコやナブコがブレーキシリンダの製造を開始した。その他にも昭和23年頃から独自で技術開発を目指す部品メーカーが登場した。戦争中創業の愛知工業(後のアイシン精機)では昭和23(1948)年にトヨタ向けにMC(コンベンショナル型と思われる)を生産したとの記録がある。他に数社ブレーキシリンダを手がけたメーカーがあったがいずれも第一次オイルショック前後に消えていった。真空倍力装置専門であった自動車機器(現ポッシュ)、現在ホンダ系の大手ブレーキメーカー日信工業、マツダ系の辰栄工業(独コンチネンタル社のコンチネンタル・オートモーティブ・シ

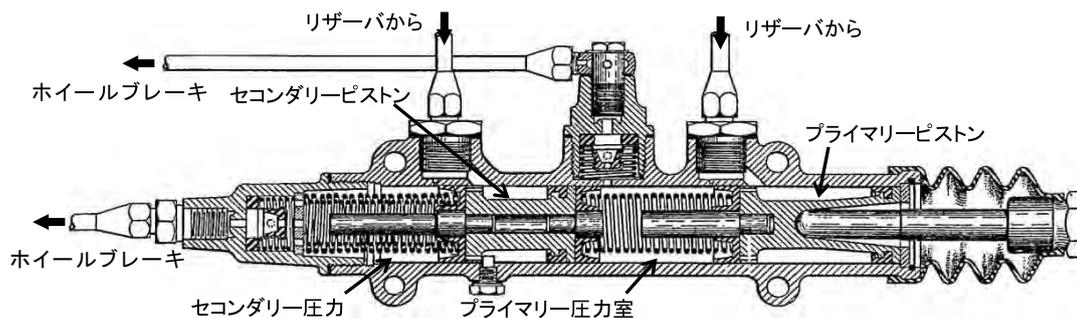


図 6.12 戦前に現れたタンデムマスターシリンダ(英国特許公報の図から作成)

ステム部門に吸収され、現在は日清紡傘下)などが本格的にブレーキシリンダ事業に参入するのは昭和40年代である。先に述べたように昭和20年代後半に、日産自動車、日野自動車、いすゞ自動車、三菱重工が海外の自動車メーカーと提携しロックダウン(KD)生産を始め、昭和30年頃から提携の目的である部品の国産化検討が始まった。ドラムブレーキ用のホイールシリンダは戦前からの蓄積で十分に製造可能であったと思われる。MCも三菱重工のジープ、日野自動車のルノーおよびいすゞ自動車のヒルマンミンクスはコンベンショナル型であったので特別な技術開発不要であったと思われる。

日産が国産化を図ったオースチンA50ケンブリッジのMCは英ガーリング社製アルミ合金鋳物シリンダで、シリンダ先端にバルブシート面を有するセンターバルブ(CV)方式であった。この国産化にあたりナブコ社がガーリングの構造と異なるピストン側にバルブシート面を持ってきたセンターバルブ(P)型MCを開発した。これは実公昭34-1126として登録された。この発明は特許として出願されたが、公告後他社の異議申し立てにより実用新案として成立したが、1938年登録の英国特許488,771と全く同一構造であり、本来は実用新案としての成立も難しかったのではないと思われる。

それはともかく試作開発を進め最終的には図6.9に示すような構造でガーリングの承認を得て国産化された。この後昭和30年代末にナブコはベンディックス社と、トキコはガーリング社と技術導入契約を結んだ。

ガーリング社のアルミ合金鋳物は英国規格LM12(Al-Cu-Si系)を使用していた。これに対し国内調達可能な一番近い合金としてJISのAC2A(Al-Cu-Si系ラウタル)での国産化を図った。ナブコは鋳造方法として、高圧の液圧を保持する容器であるシリンダの巣不良などの欠陥を少なくするため砂型鋳物による重力鋳造でスタートしたが歩留まりが悪いため中断、シェ

ルモールドを採用して500個/月の生産を行った。生産数の増加に伴いグラビティダイカasting(重力式金型鋳造)へと移行した^(注5)。トキコもほぼ同時期に自社内で重力鋳造を開始している。

MCの他ホイールシリンダのアルミ化も並行して進んでいる。トキコ、ナブコ両社のアルミ合金製ブレーキシリンダは国産では最初期の採用であり、世界的に見てもかなり早い時期にブレーキシリンダのアルミ化に踏み切っている。しかし後に先駆者としての代償を払うことになったのだが、これは後述する。アルミ鋳造法は、現在、低圧プレッシャーダイカastingや、「鑄巢」など欠陥がより少ない溶湯鍛造(スウィズカasting)なども行われている。

一方トヨタ自動車は昭和30(1955)年発売のクラウンに愛知工業(後のアイシン精機)の鑄鉄製プランジャ型(ガーリング型、ガーリング特許BP533,224, USP2,577,153)を採用した(図6.13)。プランジャ型はコンベンショナル型に比較するとプライマリーカップのリリーフポートによる損傷が無く、ゴム材やブレーキ液が未発達の当時においてはやむを得ざる選択であったと思われる。トヨタはクラウン用MCではプランジャ型を昭和42(1967)年型まで使い続けた。トヨペットコロナは昭和39(1964)年型でより廉価なコンベンショナル型に変更している。この頃になるとゴムやブレーキ液の品質が向上してコンベンショナル型でも十分に品質保持できると自信を得たのであろう。SMCは昭和40年代にタンデム化が進むためこれ以上構造的に進展はなかった。

昭和39年には海外でもそれほど普及していない2系統ブレーキを採用する国産高級乗用車が現れた。最初の車はトヨタのクラウンエイトで昭和39年4月の発売である(図6.14)。次いで同年5月プリンス自動車(後、日産自動車と合併)のグランドグロリアに採用された。

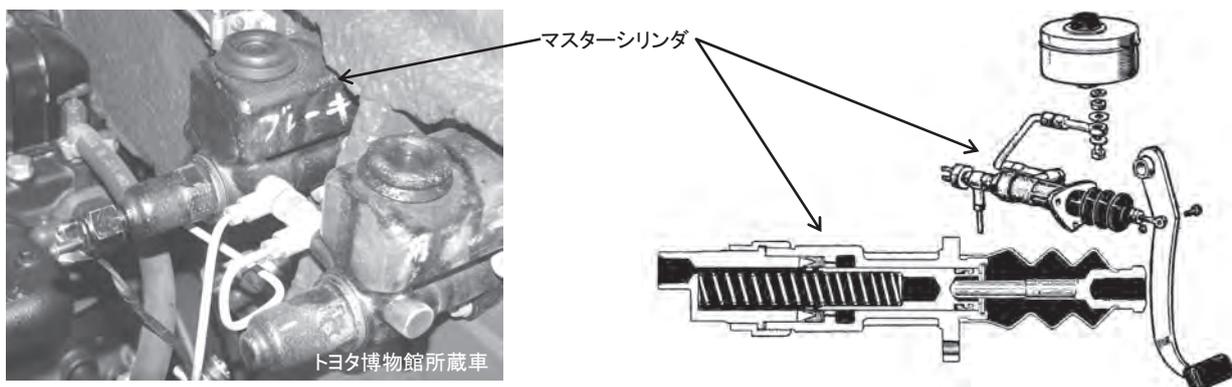


図6.13 昭和30年発売のトヨペットクラウン(RS型)のMCの写真と昭和33年版トヨタ自販の解説書^(注6)にある図

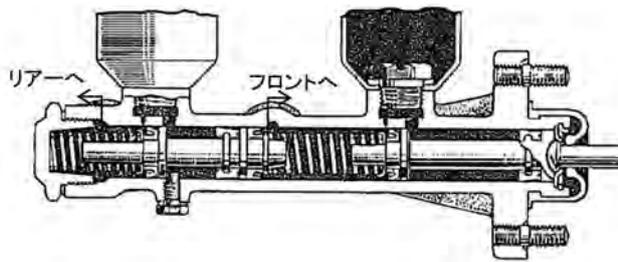


図 6.14 昭和 39 年、トヨタクラウンエイトに搭載された日本初のアイシン精機製タンデムマスターシリンダ^(注7)

いずれも小型車の枠を越えた 2.5 クラスのエンジンを積んだ、国産最高級を謳った自動車である。グランドグロリアは、トキコが開発したコンベンショナル / センターバルブ (Co/CV) 型 TMC (図 6.15) であった。

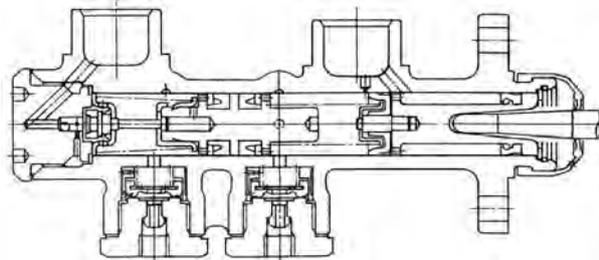


図 6.15 昭和 39 年採用のグランドグロリア用 TMC (図面日立製作所)

日産も、それから 1 年ほど後の昭和 40 (1965) 年にセドリック (130 車) にセンターバルブ (P 型) / センターバルブ [CV (P) / CV] 型 TMC を採用した。シリンダ材質はオースチン国産化で実用化したアルミ合金鋳物で軽量化が図られている。センターバルブ型を採用したのは、タンデム化によりストロークが半減するため、特にセコンダリー側のカップの損傷と、ダブルペダル効果の減少を考慮した結果であった。

これより先四国高知県の発明家中村幸一が昭和 30 年に特公昭 30-3109 「遊動ピストンによる油界分離式自動車制動用 MC (図 6.16)」と題する特許を取得した。

この特許は前出のオートモーティブプロダクツ (AP) 社の昭和 11 (1936) 年登録の米国特許 (図 6.12) と実質的に同一であり本来特許として成立しえないものであったが、当時海外特許の調査が十分できないという事情から成立してしまった。この特許の存在で TMC の進出に後れをとった大手ブレーキメーカーがあった。

昭和 40 年頃まではその他にも個人発明家の特許に悩まされるケースがあったが、大手部品メーカーの特許管理態勢の確立と共にこのようなケースは次第に消滅していった。

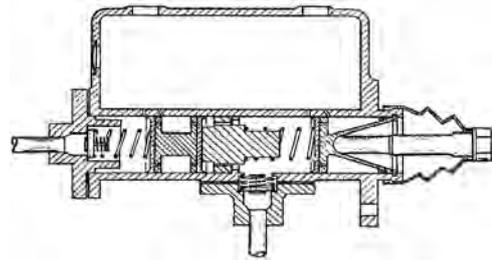


図 6.16 昭和 30 年登録の中村特許の図

TMC は昭和 30 年代後半には既に一般の乗用車などにも英国オートモーティブプロダクツ社の他、英国ガーリング社がティルティングバルブとセンターバルブを用いた TV/CV 型で、また米国ではベンディックス社、デルコモレーン社などがコンベンショナル型 (Co/Co 型) を生産していた。

ベンディックスはプライマリーピストン側のリターンバネ力を強くし、かつ一定の長さ以上に伸びないようにした「籠バネ (ケージバネ)」と呼ばれるバネを用いた TMC 特許 USP3, 149, 468 を取得していた。これはプライマリー側とセコンダリー側が同時にリリースポートを閉じることができるので無効ストロークが半減するメリットがあった。

この特許は公知例によりかなり特許範囲が狭くなっており、更に日本出願時、優先権主張期限を過ぎていたため別考案を入れた実用新案 (実公昭 44-21692) となって登録された。権利範囲が狭く他社の類似構造採用を阻止することにはならなかった。特許権取得の難しさを考えさせられた例である。

(4) JIS 規格の制定と

海外規格 (SAE、ISO 規格) への対応

昭和 30 年代中頃から自動車の国内販売も増え自信を得たトヨタは昭和 33 年 (1958 年) にクラウン (RS) の対米輸出をはじめたが、フリーウェイでの高速走行に耐えられず輸出を中止、その後昭和 35 年 (1960 年) 新型コロナ (RT20L) を投入した。高速性能はクラウンより優れていたが足回りのトラブルで販売は困難を強いられた。日産も 1960 年にダットサン 210 の米国輸出を試みるがトラックシャーシを用い頑丈なだけ取り柄の乗用車の販売はさんざんなものであったという^(注8)。国内の道路事情で設計された自動車の限界が見えたと言う現実に危機を抱いた通産省、自動車業界は自動車関係の JIS の整備を始めた。当初ブレーキシリンダに関しては輸出品を対象とした JISD7312 「自動車用油圧ブレーキ親シリンダ (輸出用)」が昭和 33 (1958) 年制定されたが、昭和 36 (1961) 年に国内向け

も含め品質向上と標準化、仕様の統一化を図るため、「液圧マスターシリンダ JIS D2603」が制定された。この規格は米国の自動車技術会 (SAE: Society of Automotive Engineers) で昭和 21(1946)年に制定された SAE Standard 60R1「Rubber Cylinder Cups for Passenger Cars and Moderate-Duty Vehicles」を基礎とした規格である。ただ SAE Standard はゴムカップの品質要件を主体とした総合的なブレーキシリンダの規格であったがこの規格全体を JIS 化するには試験など準備期間を要すると言うことで先送りされ、ゴムカップは別の JIS として後日制定すると言うことになった。その代わりに、JIS 付属の解説書に SAE 規格の邦訳を掲載しており、輸出用については解説を参考にすると言うことであった。

また SAE 規格には耐熱温度 70°C の 60R1 (Moderate Duty、ゴム材質天然ゴム) と耐熱温度 120°C の 60R2 (Heavy Duty、同合成ゴム) の 2 種あり、高温仕様 R2 は時期尚早として 70°C 仕様のみが制定された。高速性能が要求される米国向け輸出のみならず、国内でも高速道路の整備が進み、さらに高性能な性能要件の制定が必要となり、昭和 39(1964)年 SAE の 60R2 (120°C 仕様を含むゴムカップの JIS が D2605 として) に漸く制定された。SAE のひとつの規格に対し、JIS は D2603 (マスターシリンダ規格)、D2605 (ブレーキ用ゴムカップ)、その後追加された D2604 (ホイールシリンダ) の三つの規格が対応する。

その後二重 (2 系統) ブレーキの法規制、SAE の改正、ISO の制定等に伴い JIS は逐次改正されていった。主な改正点はディスクブレーキの普及や排ガス対策によるエンジンルーム内の温度上昇などによる使用環境の変化に応じ 150°C 仕様を加えたこと、昭和 49(1974)年に TMC のテスト仕様を追加、昭和 57(1982)年には TMC の普及に伴い TMC 主、SMC 従の規格に改正したことなどがあげられる。昭和 63(1988)年の改正時において高温耐久テスト (ストロークテスト) の圧力とストロークの関係を、自動車部品工業会シリンダ技術委員会が中心となって世界で初めて実車の測定結果をベースにして明確化し JIS に反映した。その経過は JIS D2603-1988 の解説に詳述してある。現在の JIS は国際規格である ISO との整合がほぼ図られている。

(5) 安全対策およびリコール問題

米国では 1950 年代の年間自動車事故死者数は 3 万 7 千人であったが、1960 年代半ばには 5 万人近くまで上っていた。この事が当時盛んになっていた消費者運動を自動車の安全性を求める運動に駆り立て、有名な活動家ラルフ・ネーダー (Ralph Nader) が「Unsafe

at Any Speed (どんなスピードでも安全ではない)」という車の安全性とそれに対するカーメーカーの取り組みを批判する本を出版するに及び、消費者の自動車の安全性運動はピークに達した^(注9)。米国連邦政府は昭和 41(1966)年に「連邦自動車安全基準 (FMVSS: Federal Motor Vehicle Safety Standard)」を制定、昭和 43(1968)年 1 月以降米国内で販売される車へ各種の安全対策の適用を義務づけた。大型商用車以外の自動車用ブレーキに関しては FMVSS No. 105 でブレーキ性能要件の他、2 系統ブレーキおよび 1 系統故障時の警報装置の装着を要求した。対米輸出を視野に入れた日本のカーメーカーはこれを受けて TMC の装着率を増やしていった。日本でも運輸省の保安基準が逐次改正され、まず昭和 42(1967)年に大型車への二重安全ブレーキ (2 系統ブレーキ) の装着が義務づけられ、昭和 48(1973)年に全ての車への 2 系統ブレーキの装着が義務づけられた。さらに翌昭和 49(1974)年には主ブレーキの故障警報装置の装着が義務づけられた。主ブレーキの一系統故障時に警報するというコンセプトは昭和 41 年の米国 FMVSS の規制で初めて出てきたもので、当初の要求では警報は一方の系のブレーキ液圧が低下した時警報を発する差圧警報 (図 6.17) であった。その後故障の予知警報になるということで、リザーバ内の液面が危険レベル以下になったとき警報を発する液面警報が主流となり、現在は液面警報のみが採用されている (図 6.18)。

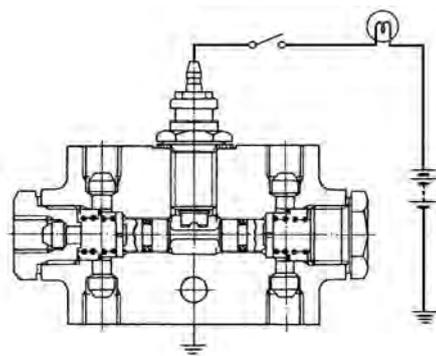


図 6.17 差圧警報スイッチ (図面日立製作所)

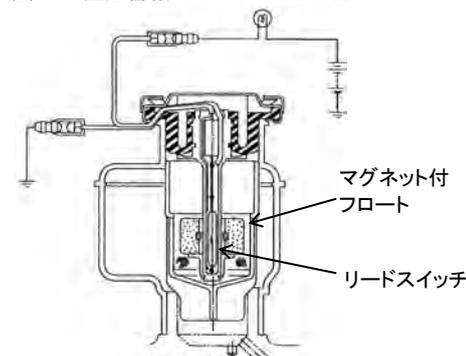


図 6.18 液面警報スイッチ (図面日立製作所)

5章でも触れたが、ラルフ・ネーダーの問題提起によってもたらされたものは、安全規制の面だけでなく、欠陥車のリコール制度の確立があげられる。米国では昭和41(1966)年から、日本では昭和44(1969)年から運輸省令に基づきリコールが実施されてきており、平成7(1995)年1月からは道路運送車両法に基づく措置として法制化された。リコール制度は、自動車が設計又は製作の過程に起因し、保安基準に適合しない、又ははしなくなるおそれがある場合、自動車メーカー及び輸入代理店が、その原因、改善方策等を国土交通大臣に届け、対象となる自動車を回収し、無料で修理する制度である。

(6) ブレーキの軽量化とアルミシリンダの腐食

日本では第一次オイルショック、第2次オイルショック以前から軽量化については取り組んでいたが、オイルショックは燃費改善の目玉としてブレーキ部品のコンパクト化、軽量化を大きく推進させた(図6.19)。それまでブレーキのアルミ化には熱心ではなかった米国でもマスターシリンダのアルミ化に踏み切った。

昭和55(1980)年コンパクトカーとしてGMがXカー(シボレー・サイテーションなど)、昭和56(1981)年クライスラーがKカー(ダッジ・エリアスなど)でアルミ鋳物製マスターシリンダを採用した。それまでの鋳鉄製のマスターシリンダの1/3近い軽さになった。この頃には日本のブレーキメーカーはアルミ化、標準化、コンパクト化などの技術で先行し、設計的には世界をリードしていた。

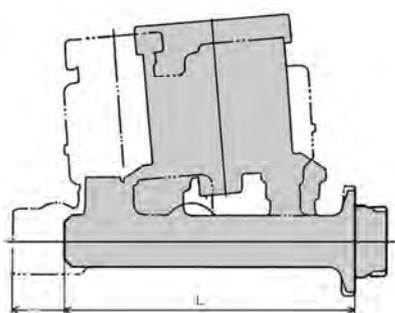


図6.19 同一縮尺の軽量化TMC(灰色)とそれ以前のTMCとの比較。長さ(L)で約80%、重さは約60%になった。
(図は日立製作所提供)

元々日本では昭和30年代初め日産が、その後ホンダや富士重工などを中心にブレーキシリンダのアルミ鋳物化が進んでいた。アルミ鋳物は銅、シリコンを数%~10%程度含むラウタル系合金で、鑄造性や強度には優れた材料であったが、鋳物内に銅やシリコンの結晶が多く存在し、純アルミに対し耐食性が劣ってい

た。内径20mm程度で、全長200mmもあるマスターシリンダのピストン摺動部に硬質陽極酸化被膜処理(アルマイト)を、表面粗さを保ちながら均一に生成することは困難であった。さらに切削面には銅やシリコンの結晶が露出することからアルマイトを均一に施すことが難しかったため、当初効果的な防食処理は行われなかった。ところが異物に弱いセンターバルブ型TMCに外部からの異物の他、シリンダ内に発生した腐食生成物がバルブシート部に挟み込まれブレーキ液圧が正常に上昇しない現象が市場で発生したのである。当初は腐食の原因となる要因を取り除くことで対処することが優先された。腐食生成物はブレーキ液中に溶解した銅イオンがアルミの表面に析出したものと推定された。通常ブレーキ液には銅を溶解しないように銅インヒビターが配合されている。しかしブレーキ液に塩素イオンや水分が多量に溶解すると、配管チューブの内面にメッキされた銅が溶出することが判明した。塩素の侵入は外部からの侵入以外にブレーキ液に直接接触しないリザーバキャップ等に使われるゴムのポリマー製造過程で凝固剤として使用される食塩が、製品中に数10PPMオーダー残存し、ブレーキ液中に溶解することが判明した。その後ブレーキ液に直接接触れる、触れないにかかわらずブレーキに使用するゴムのポリマーには製造工程で食塩を使わないものに変更した。

外部からの異物に対しては完全ではないので、センターバルブタイプから、異物に強いコンベンショナル型へ全面的に切り替えられ、当面の腐食および異物対策は昭和50年代前半に終了した。その後アルミ合金鋳物への硬質アルマイト処理の技術が確立され、多くの製品に採用されるようになっていった。

(7) 北米へのブレーキメーカーの進出

昭和55(1980)年末米国フォードは、GM「Xカー」に対抗する次期コンパクトカーおよびサブコンパクトカー用のアルミ製TMCを、フォード社内ブレーキ工場を含む世界中の主要なブレーキメーカー(欧州2社、米国2社および日本2社)に見積もりを要請した。日本からはトキコのみがこの引き合いに応じ、競合の結果、月産約11万個という大量のマスターシリンダの一括受注に成功した(図6.20)。翌昭和56(1981)年4月にはほぼ仕様が固まり、昭和57(1982)年秋から量産予定で試作が始まった。このマスターシリンダはGMがXカー用として新しく投入したファーストフィル(Fast Fill)型と呼ばれる形式である。これは引きずり抵抗低減のためディスクブレーキのパッドクリアランスを大きくし、そのため増えた初期(低圧)の消費液量を、二段内径のマスターシリンダの大径部で

低圧大容量のブレーキ液を送り込み、パッドクリアランスを素早く詰めることができるためこう呼ばれた。その後不要な大径部の圧力をリザーバに逃し、小径部のみで高圧を発生させ通常のブレーキをかけることができる。この構造は GM の特許 (USP 4, 208, 881) となっていたが、公知例などから特許を回避できる見込みを得ていた。フォードにとっても日本のブレーキメーカーにとってもブレーキという重要保安部品を、かつ全く新規の設計で、一気に月産 11 万個受発注するというのは初めての経験であった。

当初フォードは重要保安部品であるゴムカップは米国産を使うことを要求したが国産で十分な性能を発揮できることが証明され全て日本製部品で製造することができた。米国国内で流通しているフォードの純正品を含む市販ブレーキホースの内面ゴムのポリマー自身に大量に塩素を含むクロロプレングムを使用されているのでシリンダには当初からアルマイト処理を施した。

フォード向け TMC はその後他の日本メーカーも参入し、小型ピックアップトラックや SUV 等に拡大してフォードの大半の TMC は日本製となった時期もあった。その後円高も影響し現地生産を始め、日本のトランスプラント向けを含めて現地生産が多くなった。

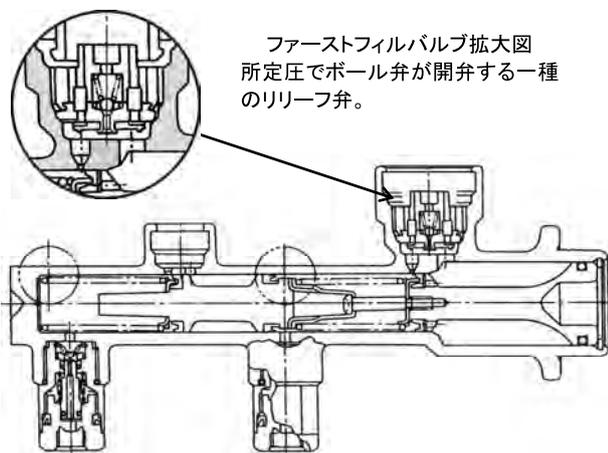


図 6.20 米国フォード向けファーストフィル TMC (図は日立製作所提供)

(8) 電子制御ブレーキ (ABS、ESC、TCS、EBD) への対応

(a) ハイフロータイプ センターバルブ型 TMC

1980 年代にソレノイドバルブを用い高度な電子制御で 4 輪のブレーキ圧を減加圧制御するアンチロックブレーキシステム (ABS、Anti-lock Brake System) が一般に普及すると、マスターシリンダは大きな影響

を受けた。ABS は、減圧のため一度アキュムレータに落とされたブレーキ液がポンプで再加圧され、マスターシリンダに高圧パルスとなって戻されてくる。コンベンショナル型では、そのパルスで、特にストローク配分の少ないセコンダリー側のカップがリリーフポートに食い込み食いぢぎられてしまう。ここで再びセンターバルブ (P) 型マスターシリンダが脚光を浴びることになった。図 6.21 に示す様なバルブのシート部をセコンダリーピストンの頭部に設けたセンターバルブ構造になっている。プライマリー側はカップがリリーフポート近くまで戻されることが少なく信頼性の高いコンベンショナル型である。

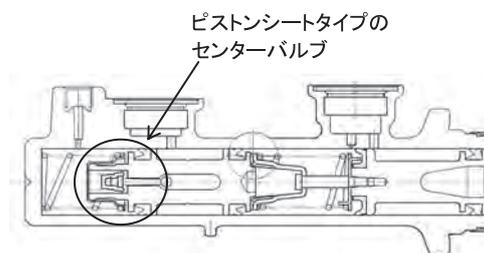


図 6.21 ABS 車用として新たに開発された Co/CV (P) 型 TMC (図面日立製作所提供)

1990 年代後半には、ABS アクチュエーターを利用し TMC のリザーバのブレーキ液を使って自動的 ABS のポンプでブレーキ液を加圧し、滑りやすい雪の坂道などの発進を補助するトラクションコントロールシステム (TCS) や、操舵中に 4 輪個別にブレーキを自動的に作動させ自動車の姿勢を制御するエレクトロニックスタビリティコントロール装置 (ESC) が開発されると、運転者がブレーキ操作をしない状態で、リザーバから急速にブレーキ液を吸い込ませる必要があるため、バルブ部の流通抵抗を少なくしたハイフロー型センターバルブ TMC が開発された (図 6.22)。

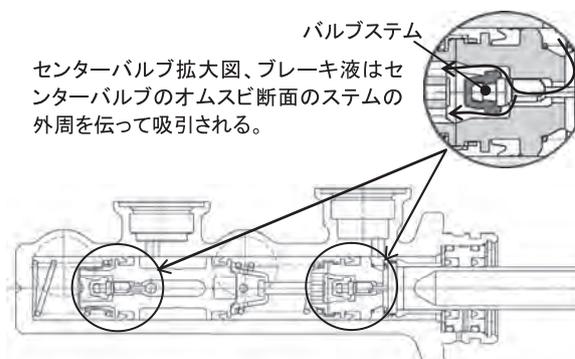


図 6.22 TCS、ESC 車用ハイフロー TMC (図面日立製作所提供)

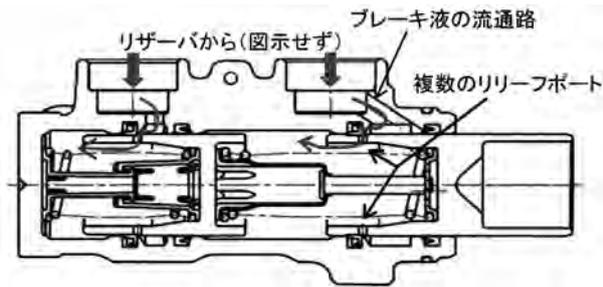


図 6.23 ハイフロープランジヤ (HF type PI/PL) 型 Mini TMC
(図面日立製作所)

(b) ハイフロータイプ・プランジヤ型 TMC (図 6.23)

1980 年代以降前輪駆動車が一般化すると共に、エンジンルーム内にエンジン制御機器、排ガス対策装置、ABS 等各種電子制御機器等が詰め込まれエンジンルームは狭くなり、その中に納めるためにはブスターやマスターシリンダをますます小さくすることが要求された。それに応え米国アライド社が(ベンディックス社の後身) 開発したのがミニマスターシリンダである。構造的には英国ガーリング社のプランジヤ型マスターシリンダをタンデム化したものである。小型化のため複雑化し、コスト的には不利であった。最近になって、戻り位置でのブレーキ液の流通抵抗を少なくできるプランジヤ型の特徴が注目され、ABS、TCS、ECS 等のマスターシリンダ用として見直されている。シリンダ奥のリセス加工法の開発などでローコスト化も実現でき、ハイフロータイプのプランジヤ型ミニ TMC として採用が増えている。

6.3 ホイルブレーキ (ファンデーションブレーキ Foundation Brake)

車輪部に装着され、実際にブレーキ力を発生する部分をホイールブレーキ (ファンデーションブレーキ) と呼ぶ。自動車初期に実用化されたホイールブレーキは外部縮小式バンドブレーキであった。1920 年代に入り、次第に内部拡張式のドラムブレーキが採用されはじめ、液圧式 4 輪ブレーキが普及した 1930 年代には内部拡張式ドラムブレーキが主流となった。さらに 1930 年代から航空機用として発達してきたディスクブレーキが戦後の昭和 28 (1958) 年欧州でレーシングカーに採用され、高速を競い合うレースで良い成績を収めるに至って、スポーツカーを中心に欧州で採用が広まった。日本でも昭和 30 年代末から一部のスポーツカーへの採用が始まった。現在ではほとんど全ての車がディスクブレーキを装着している。なお、この稿で扱うホイールブレーキは内部拡張式ドラムブレーキとディスクブレーキに限定する。

ドラムブレーキとディスクブレーキの大きな違い

は、ドラムブレーキがブレーキシューと呼ばれる円弧状の摩擦部材を回転する円筒 (ドラム) に押しつけるので、ドラムの回転に伴いシューが巻き込まれ制動力が増幅されるセルフサーボ効果があることである。セルフサーボ効果をさらに効果的に利用しようとしたドラムブレーキにサーボブレーキと呼ばれる形式もある (この形式でないものはノンサーボブレーキと呼ぶ場合もあるが、サーボ効果がないわけではない)。

これに対しディスクブレーキは、回転するディスクに摩擦部材を両側から押しつけるだけであるから、通常セルフサーボ効果はほとんどない。

ブレーキの入力に対する出力の比をブレーキ効力係数と呼び摩擦係数との関係を表すとブレーキの形式毎に図 6.24 のようになる (ドラムブレーキの形式は 6.3.2 項で詳述する)。セルフサーボ効果の大きいブレーキは摩擦係数の変化に対し大きく制動力が変化し、ディスクブレーキのようにセルフサーボ効果がないものは直線的に変化し安定したブレーキとなっていることが分かる。

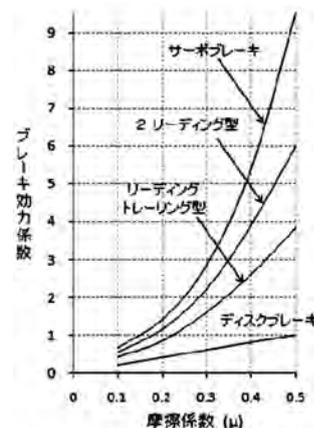


図 6.24 ブレーキ効力係数

摩擦材は温度上昇によって摩擦材表面の摩擦係数が大きく変化する (通常摩擦係数が下がる)。この現象をフェードと言う。これを台上テスト (フェードテスト) で比較した結果が図 6.25 である。ディスクブレーキと 2L 型ドラムブレーキの高速からの繰り返し制動によるブレーキ効力の変化と、冷却後の効きの回復状況を示している。ドラムブレーキに対しディスクブレーキは、フェード時の効力変化が少なく、また回復も優れていることが分かる。

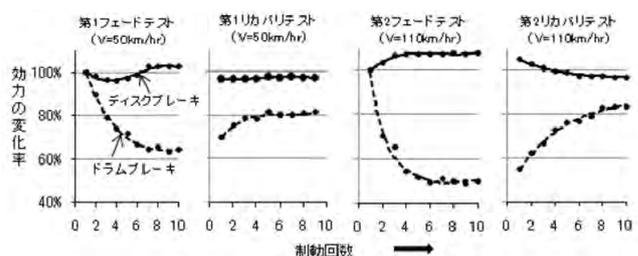


図 6.25 ドラムブレーキとディスクブレーキのフェード特性

ドラムブレーキの代表的な形態として図 6.26 にリーディング・トレーリング型を、図 6.27 にディスクブレーキの 1 形態としてオポーズド型の例を示す。

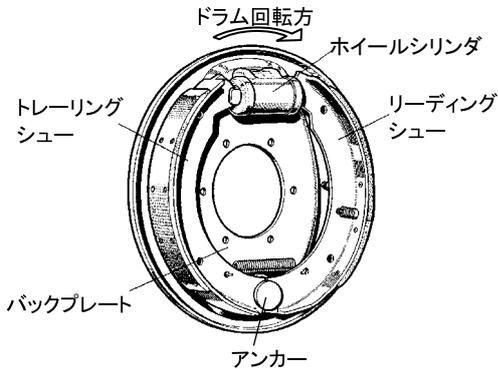


図 6.26 リーディング・トレーリング型ドラムブレーキ^(注9)

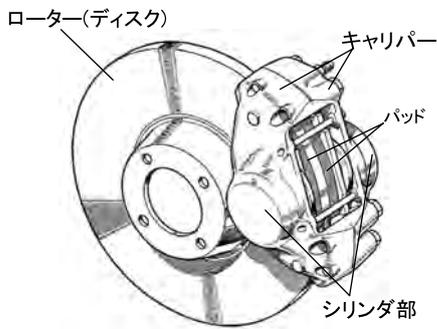


図 6.27 オポーズド型ディスクブレーキ^(注9)

各種形式の具体的構造は次項以降で触れる。図 6.28

に示すグラフは、日本でディスクブレーキが登場する直前の昭和 35(1960)年から、ほとんどのモデルにフロントディスクブレーキの装着が進むまでの、ブレーキ形式別装着モデルの全モデル数に対する比率の推移を示す。

サーボブレーキは昭和 35 年頃から増加し、それまで一般的であった 2 リーディング型を凌駕するまで普及したが、昭和 39(1964)年開通の東名高速道路などでの高速度からの制動不安定性が嫌われ、安定性の良い 2 リーディング型が再び増加する。安定性がさらによいディスクブレーキは、昭和 39 年に一部のスポーツカーのフロントブレーキとして採用されたのをきっかけに昭和 40 年代前半に採用が急増、昭和 40 年代半ばには 50% を超え昭和 59(1984)年にはフロントブレーキはほぼ 100% となった。その後 ABS 車の増加と共にリアブレーキのディスク化も進み、現在では普通車のほとんどが全輪ディスク化されている。

6.3.1 ディスクブレーキ

ディスクブレーキは、回転するディスク(円板)にその両側から摩擦材を圧着して制動を行うものである。すなわちブレーキの定義でも述べたように、運動物体の持つ運動エネルギーをディスクと摩擦材との摩擦により熱エネルギーに変換し、主としてディスクから空中に放散させるものである。ディスクブレーキは、現在、自動車、航空機、鉄道車両、産業用機械などの制動装置として広く用いられている。

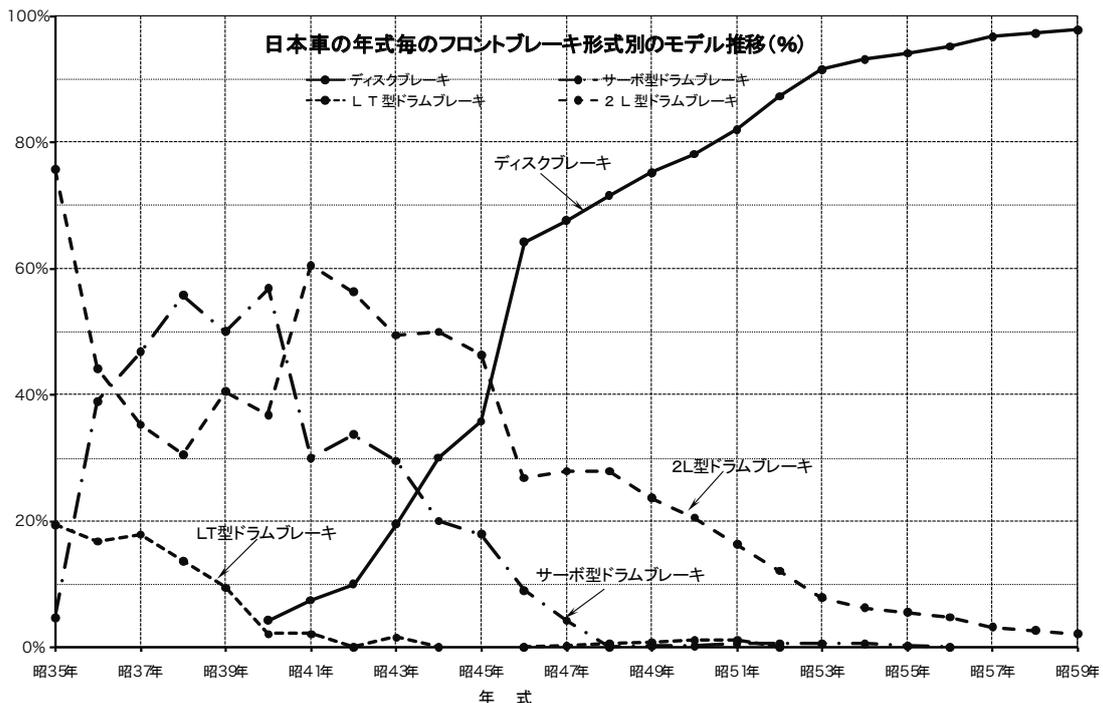


図 6.28 フロントブレーキの装着モデル数推移(大型車を除く)^(注10)

(1) ディスクブレーキの起源

ディスクを摩擦材で挟んでブレーキをかけるというアイデアは古くは1900年代初期に見られる。明治36(1903)年に英国のランチェスター(F. W. Lanchester)が出願した、世界初のディスクブレーキの特許(英国特許第1903/26407、図6.29)が登録された。このディスクブレーキは摩擦材がディスクの制動面の1部分をおおっているスポット型であった。実際に試験も行われたが、当時は摩擦材の良質なものがなく実用に至らなかったといわれている。さらに明治41(1908)年には自転車、自動二輪車、自動車用ディスクブレーキに関する英国特許(第1908/14,901)が登録された。このディスクブレーキは摩擦材がディスクの制動面の360度、全周をリング状におおっているクラッチ型であった。

これらディスクブレーキはいずれも機械的作動によるものであった。

その後、航空機用や鉄道用として考案されたディスクブレーキは作動機構に流体圧力を利用するものが現われ、昭和7(1932)年に航空機のランディングホイール用流体圧作動のディスクブレーキが英国特許第364,868号として公開された(図6.30)。

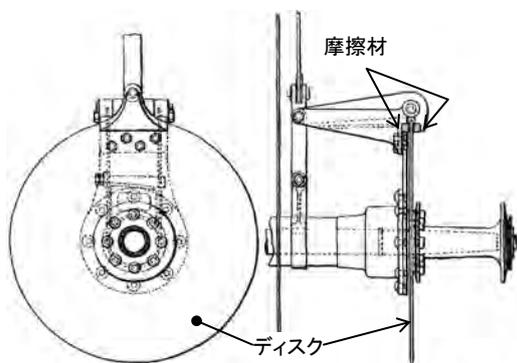


図6.29 1903年に登録されたスポット型ディスクブレーキランチェスターの英国特許

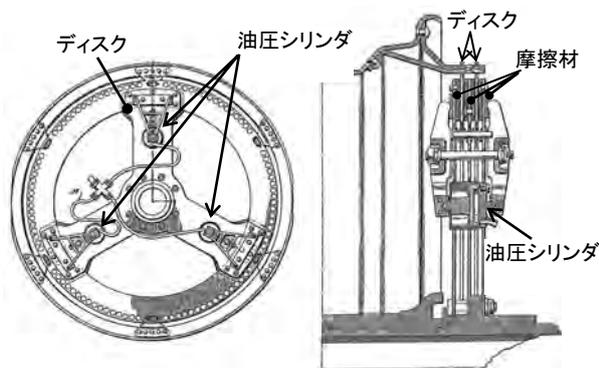


図6.30 航空機用ランディングホイールの3点スポット型ディスクブレーキ。1932年登録の英国特許。

このディスクブレーキはディスク板を2枚とした、多板式3点スポット型であった。3点スポット型は自動車用にその後発展するスポット型と言うよりはクラッチ型に近い考えであり、その後、航空機用ディスクブレーキは多板式クラッチ型が普及する。航空機用は自動車用と同様に車輪の内側に収納するが、着陸時1回の制動で大量の運動エネルギーを瞬間的に吸収し、拡散しなければならないという条件から独自のクラッチ型の構造で発展していった。

昭和11(1936)年に鉄道車両用ディスクブレーキに関する英国特許第441,665号(図6.31)が公開された。現在用いられている鉄道車両用ディスクブレーキも基本的にはこれと同じである。鉄道車両用ディスクブレーキは、航空機、自動車用などのようにブレーキを車輪の内側に收容する必要がないなどの理由で構造的にはディスクブレーキの中でも独自の分野を形成している。

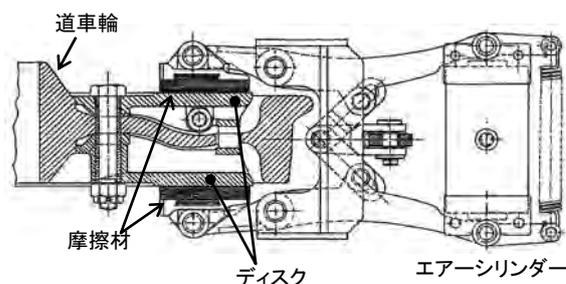


図6.31 鉄道車両用ディスクブレーキ、新幹線のブレーキと見まがうばかりであるが、1936年の英国特許である。

(2) 自動車用ディスクブレーキの分類

前述のようにディスクブレーキは昭和5(1930)年ごろから主として航空機用として開発され、また、鉄道車両などにも実用化された。当時の自動車の性能や道路事情などから、自動車用には普及しなかった。自動車用ディスクブレーキが著しい発達をとげるのは昭和25(1950)年以降である。自動車用ディスクブレーキは頻りに繰り返し制動を行うため、ブレーキ作動の際に発生する熱はディスク表面で300~500°Cにもなる。この熱を効率的に放散させる必要があり、自動車用ディスクブレーキとしては熱放散性に優れたスポット型が適している。このスポット型ディスクブレーキは、摩擦材の加圧機構や自動車への取り付け構造について種々工夫がなされた。ディスクブレーキが本格的に普及し始めた昭和45(1970)年頃までのディスクブレーキの歴史と分類を表6.1(その1及び2)^(注11)に示す。以下この分類に沿ってディスクブレーキの構造を概説する。基本的なディスクブレーキの形式はこの

時代までに出尽くしており、その後の発展は耐腐食性、快適化（異音や振動の問題）、大容量化、軽量化などの改良に主眼が置かれた進歩に変わる。

(イ) オポーズド（対向）型とフローティング型

(a) オポーズド（対向）型

オポーズド型とは、ディスクを挟んで両側に位置する一対の固定シリンダを有し、各シリンダのピストンによりディスクの両側の摩擦材をそれぞれディスクに押し付けるようにしたスポット型ディスクブレーキをいう。浮動部材がなく、したがって、浮動部材のための摺動部がないので振動、錆、泥に強く、構造が簡単で部品点数が少ない。反面シリンダがディスクの両側にあり、一方のシリンダが必ず車輪とディスクの間に位置するので、取り付け上の制約があることとシリンダの冷却性が悪いという欠点がある。

(b) フローティング型

フローティング型とは、ディスクの片側にのみシリンダを有し、このシリンダ内のピストンが片側の摩擦材をディスクの片側に、またピストンの反力を受けた浮動部材が他側の摩擦材をディスクの他側にそれぞれ押し付けるようにしたスポット型ディスクブレーキをいう。

シリンダがディスクの片側にしかなく、車輪とディスクとの間にはシリンダを配置しなくてもよいので、取り付けスペース上の制約が少なく、シリンダの冷却性がよい。欠点は浮動部材のための摺動部があるので、振動、錆、泥などの影響を受けやすい。

(ロ) スライド型とスイング型

(a) スライド型

スライド型とは、浮動部材がシリンダ軸線に平行に移動するフローティング型ディスクブレーキをいう。スライド型はスイング型に比して一般に作動空間が小さく自動車への装着性がよい。

(b) スイング型

スイング型とは、浮動部材がシリンダ軸線から離れた1点を中心として揺動するフローティング型ディスクブレーキをいう。スイング型は一般に作動空間を広く必要とする欠点があるため、特許出願は数多く見られるが、実用化された例はごく限られている。

(ハ) フィスト型とフレーム型

(a) フィスト型

フィスト型とは、浮動部材のディスクを跨ぐ部分（アーム部）がシリンダ中心より上方に位置するスライド型ディスクブレーキをいう。このフィスト型は、浮動部材が概ね門型で、ディスクを挟みつけた時、浮動部材が開拡力を受ける。浮動部材のディスク円周方

向の幅が小さくて済み小型化でき自動車への装着性がよいという長所を持ち、昭和50年頃からフロントエンジン／フロントドライブ（FF）車に急速に普及した。

(b) フレーム型

フレーム型とは、浮動部材としてのフレームがシリンダ中心の真横に位置するスライド型ディスクブレーキをいう。このフレーム型は、フレームがシリンダ中心の真横にあるため、ディスクを挟みつけた時、フィスト型の場合のような開拡力を受けないので摩擦材全面を均一に押圧することができる。フレーム型は摩擦材の上方が開放されるので、摩擦材の交換がしやすい。

(3) ディスクブレーキ発展史（表6.1及び6.2参照）

表6.2^(注11)にディスクブレーキの開発に関する画期的な出来事を示した。(1)「ディスクブレーキの起源」で述べたように、世界初のディスクブレーキのコンセプトは今から100年以上前に遡り、明治36(1903)年に特許登録されたランチェスターのスポット型であった。実際試験されたが当時摩擦材に適するものが見つからず実用化には至らなかった。

大正4(1915)年頃からドイツの市街電車にスポット型が実用化された。昭和3(1928)年にはアメリカで機械式トランスミッションブレーキとして、商品名トゥルー・ストップ（Tru Stop）というスポット型ディスクブレーキが実用化された。トゥルー・ストップは、ディスク内部に冷却用空気通路を設けたベンチレーテッドディスクとなっている。広告のパンフレットにはエアコンディションドブレーキと謳い、ディスクの中心部から冷たい空気がディスクの内部を通過してディスク外周から熱い空気となって出ていく様子を描いていた。乗用車でこのようなベンチレーテッドディスクが普及するのは昭和45(1970)年を過ぎた頃である。

昭和8(1933)年にはシコルスキーが離着陸の車輪用としてディスクを3等分した位置にスポット型摩擦材を配する油圧作動多板式ディスクブレーキの特許を取得した。

昭和10(1935)年ダンロップはクラッチ型航空機用ディスクブレーキの特許を取得している。昭和14(1939)年以降第2次世界大戦直後まで航空機用も多点スポット型が開発の中心となったが、戦後は熱放散よりも熱を大容量の多板ディスクで吸収し、停止した後ゆっくり放熱するクラッチ型が主流となる。すなわち航空機のブレーキは離着陸時のほんの数秒の間に運動エネルギーを摩擦熱に変換するため放熱効果の高いスポット型よりも、熱容量の大きい多板ディスクのクラッチ型として発展していく様になるのである。

表 6.1 の 1 ディスクブレーキの歴史と分類 (その 1) (元トキコ 菟川哲男氏作成の原案を筆者が加筆修正した)

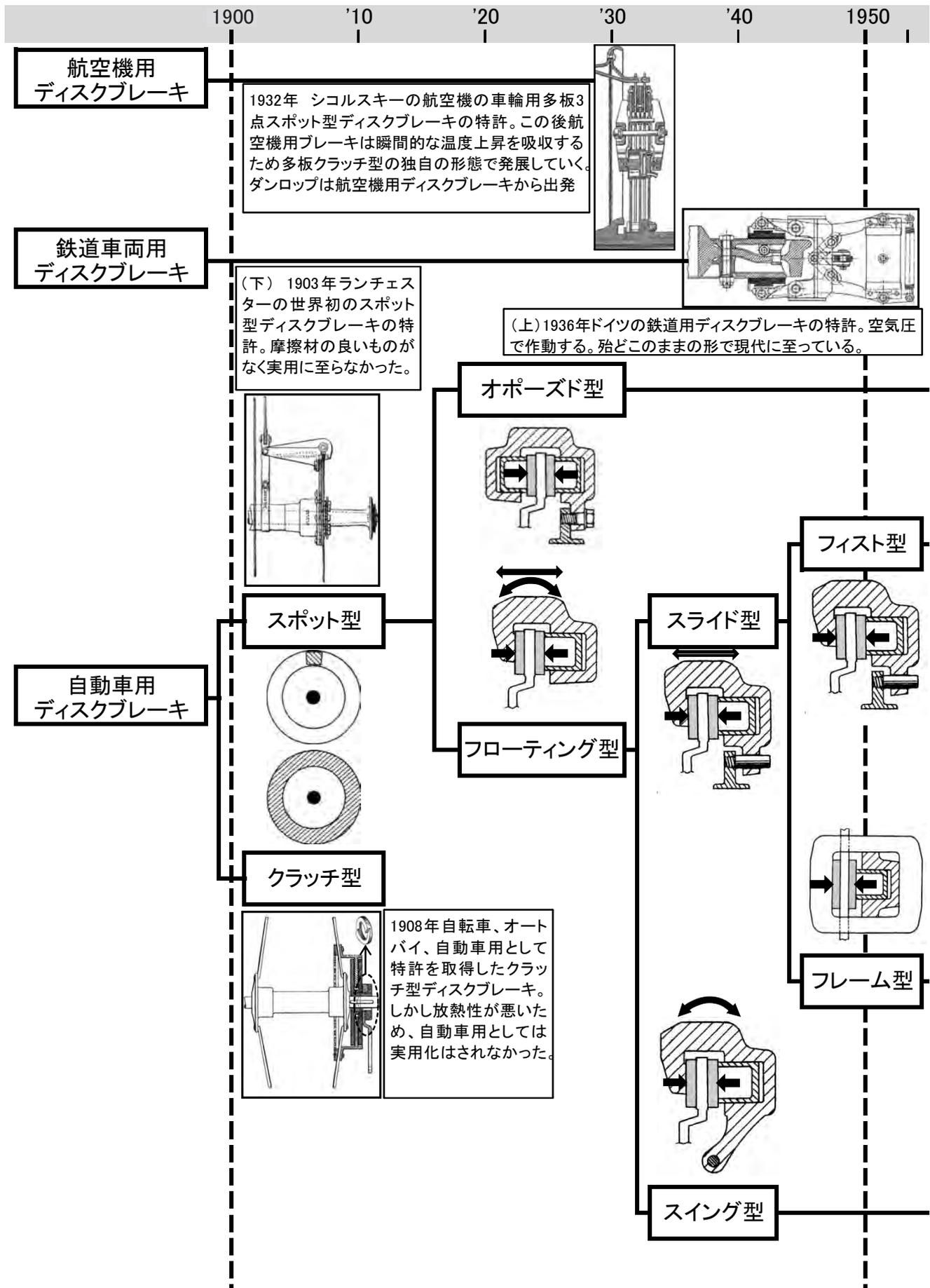


表 6.1 の 2 ディスクブレーキの歴史と分類 (その 2)

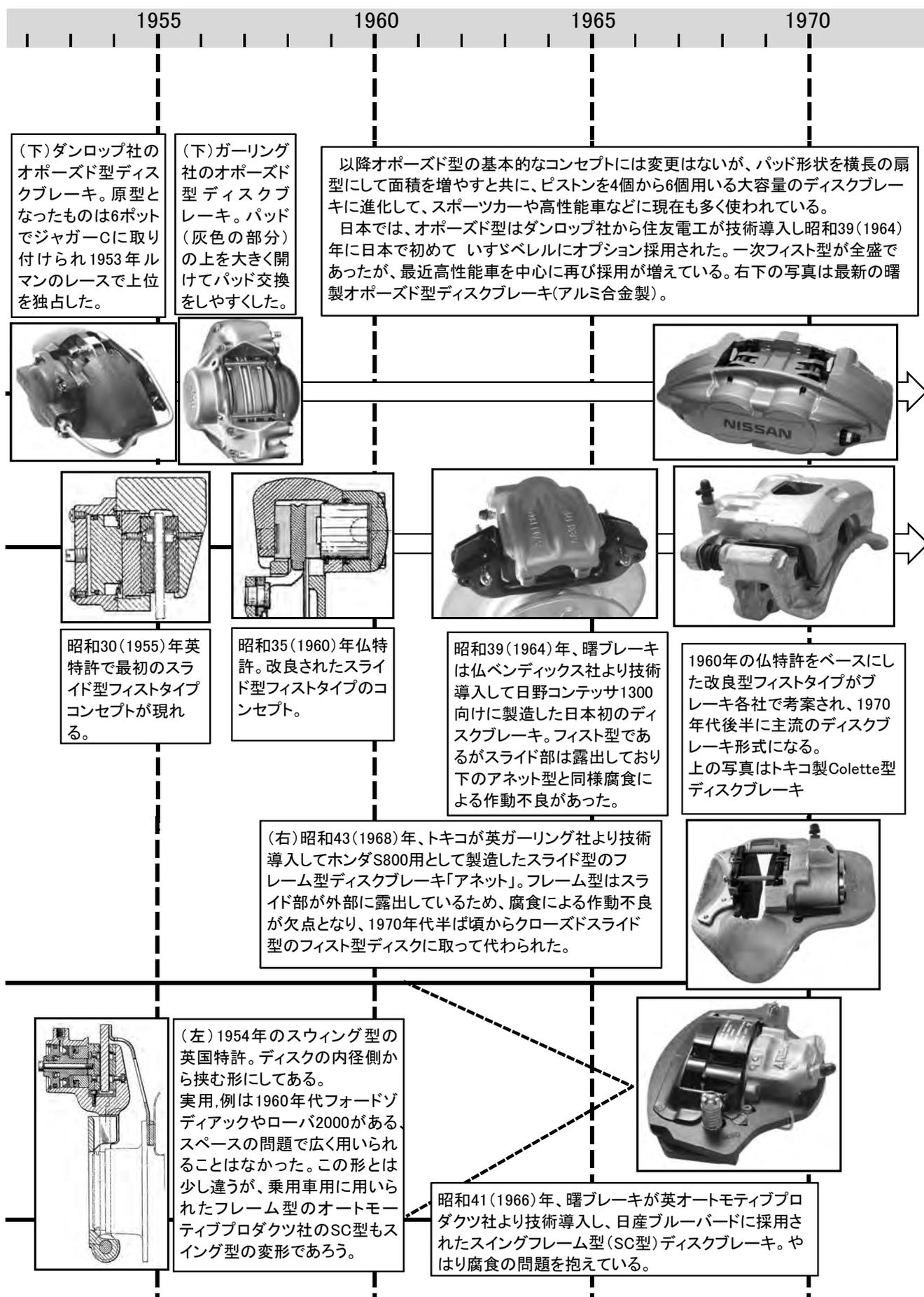


表 6.2 ディスクブレーキ開発に関するエポックメイキングな事項—明治 35 (1902) 年～昭和 62 (1987) 年
(昭和 39 年に日本で最初にディスクブレーキを採用、それ以降は日本での事項のみ記載した)

年代	内容	形式 ^(注)
明治35年('02)	・ランチェスター(Dr. F. W. Lanchester)がスポット(SP)型ディスクブレーキ特許を取得	SP
明治39年('06)	・ランチェスター20/25馬力乗用車に油浸型多板ディスクブレーキ装着	SP
明治41年('08)	・ホルツ(Holz)荷馬車用クラッチ(CL)型ディスクブレーキ特許を取得	CL
大正3年('14 ～7年～'18)	・ドイツの市街電車でディスクブレーキ使用	SP
大正9年('20)	・エーシーカー(A C Car)社の乗用車にディスクブレーキを装着し試験をする。	CL
昭和元年('26)	・クラークチャップマン(Clark-Chapman)の型録、船荷ウィンチ用電磁作動型ディスクブレーキ	CL
昭和3年('28)	・アメリカンケーブル&チェイン社トルーストップ(Tru-stop)型ディスクブレーキブレーキ、トランスミッションブレーキとして実用化	SP
昭和7年('32)	・シコルスキー飛行機会社(Sikorsky Aviation Corporation)液圧作動航空機ディスクブレーキを使用	SP
昭和9年('34)	・ドイツ ベアギッシェ鉄鋼(Bergische Stahlindustrie)社ディーゼル列車にディスクブレーキ採用	SP
	・オランダ国鉄(Netherland Rlys.)マリティブルユニット(Multiple-unit)列車にディスクブレーキ採用	
昭和10年('35)	・ダンロップラバー(Dunlop Rubber Co.)社航空機用ディスクブレーキを設計	CL
昭和12年('37)	・クロスリー(Clossley)車にハウリー(Hawley)のスポット型ディスクブレーキ装着	SP
	・ジョージ・アイストン大尉(Captain Gerge Eyston)のサンダーボルト車にディスクブレーキ装着	CL
昭和13年('38)	・エアスピード(AirSpeed)社のオックスフォード(Oxford、飛行機)にロッキード(Lockheed)社製ディスクブレーキ装着	CL
昭和14年('39 ～20年～'45)	・軍用車にガーリング(Girling)社製ディスクブレーキ装着	CL
昭和25年('50)	・クライスラークラウンインペリアル(Chrysler Crown Imperial)にクラッチ型ディスクブレーキ装着	CL
昭和27年('52)	・ジャガー(Jaguar)レーシングカーにダンロップ(Dunlop)社製ディスクブレーキ装着	SP
	・ロンドンモーターショーにて英ロッキード(Lockheed)フローティング(FL)ディスクブレーキ型を発表	FL/SP
昭和28年('53)	・ル・マン24時間レースにてジャガーXK120Cがダンロップ製オポーズド(OP)型ディスクブレーキ装着し上位独占	OP/SP
	・バスにディスクブレーキ採用(英)	SP
昭和30年('55)	・シトロエン(Citro)DS19実用車として最初にスポット(フローティング)型ディスクブレーキ装着	FL/SP
昭和32年('57)	・生産車へのオポーズド型ディスクブレーキの標準装備が進む。トライアンフ(Triumph)TR3、アストンマーチン(Aston Martin)DBIII、ジャガー(Jaguar)XK150、ジェンセン(Jensen)541等	OP/SP
～昭和45年(～'70)	・ディスクブレーキの普及が進む。オポーズド型が主流。フローティング型は1963年頃から徐々に採用される。	OP/SP
昭和38年('63)	・ルノーのドフィーヌ・フロリド(Dauphine Floride)にフィストタイプのフローティング型ディスクブレーキを採用	FL/SP
昭和39年('64)	・いすゞベレルに住電製ダンロップ型オポーズド(Mk2メカニカルリトラクション)ディスクブレーキをオプション採用(日本初)(ダンロップ社から技術導入)	OP/SP
	・いすゞベレットGTに住電製ダンロップ型(Mk2)ディスクブレーキ量産採用	OP/SP
	・日野コンテッサ1300に曙製レールスライドフローティング型(F型)ディスクブレーキをオプション採用(フランスバンディックス(DBA)から技術導入)	FL/SP
昭和40年('65)	・プリンススカイラインGT(S54A)、日産フェアレディーおよびシルビア、トヨタクラウンに相次いで住電製ダンロップ型(Mk2、Mk23)が量産採用される。	OP/SP
昭和41年('66)	・日産ブルーバードに曙製のSC型(鋼板フレーム型)採用(オートモティブプロダクツ社から技術導入)	FL/SP
	・三菱コルト1500Sに住電製ダンロップ改型(Mk35 シールリトラクション)採用	FL/SP
昭和42年('67)	・トヨタ2000GT住電製ダンロップ型を4輪に採用。日本初の4輪ディスク装着車。	OP/SP
	・トヨタクラウンに住電製ガーリングタイプのオポーズド(S16)型を採用(ガーリング社から技術導入)	OP/SP
昭和43年('68)	・ホンダS800にトキコ製フローティング型(鋼板フレーム)のアネット(Annette)型ディスクブレーキを採用(ガーリングから技術導入)	FL/SP
	・日産スカイライン(C10)にトキコ製アネット型採用	FL/SP
昭和46年('71)	・住電とトヨタ共同でセミクローズド/ピンスライドフローティング型(世界初のスライド部を保護したピンスライド型)を開発。トヨタカローラ、マツダファミリアに採用。	FL/SP
～昭和57年(～'82)	・オポーズド型からフローティング型への移行が進み、フローティング型が主流となる	FL/SP
昭和62年('87)	・曙ブレーキ独自技術によるフィスト型ディスクブレーキ(AD型)を開発、富士重工レオーネに採用	FL/SP

(注) SP : スポット型、CL : クラッチ型、OP : オポーズド(対向ピストン)型、FL : フローティング型
(元トキコ 萩川哲男氏作成の原案を筆者が加筆修正した)

鉄道車両用のディスクブレーキは先に挙げた昭和9(1934)年ベアギッシュ社の鉄道用(図6.40)が最初であるが、ドイツではその後ヘンシェル社などが客車で採用している。米国では昭和13(1938)年バッド(Budd)社で実用化したのが最初である。日本での採用は昭和32(1957)年小田急の特急車両(SE車)が最初であると思われる。いずれもベアギッシュ社製のような空気圧作動のスポット型ディスクブレーキである。バッド社では戦前にやはりベンチレーテッドディスクの特許を出願しており、ディスクブレーキは戦前に自動車の用途以外で基本形式がほぼ固まっていたと見ることができる。

軍用車等の特殊車両を除く一般市販自動車のディスクブレーキの実用化は、昭和25(1950)年に発売され、クライスラーの最高級車クラウン・インペリアルが最初である。

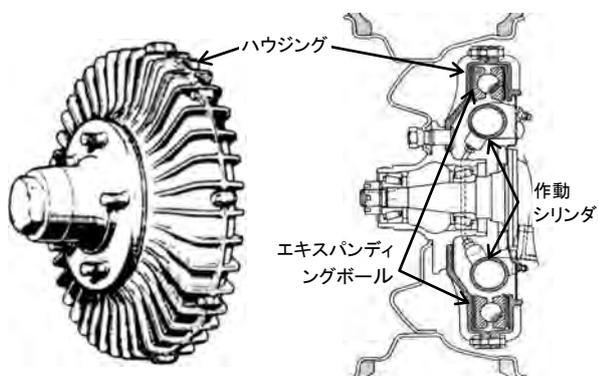


図6.32 クライスラーの特殊なディスクブレーキ^(注3)

このディスクブレーキの作動方式はボールアンドランプで、内部拡張式とも呼ぶべき特殊な作動方式のクラッチ型ディスクブレーキであった(図6.32)。ハウジングは冷却性を良くするためフィンをつけている。この方式はパワーブースターを使用しないで済むようにセルフサーボ効果があることを特徴としていた。

このようなディスクブレーキを開発した理由の一つには昭和25(1950)年頃はパワーブースター(真空ブースター等)が未発達であったということがあげられる。その後のパワーブースターの発達でこの形式は続かなかった。同じ頃米国のクロスリーというメーカーが製造したホットショット・ロードスターという日本の「軽」に近いスポーツカーに4輪スポット型ディスクブレーキが装着されていた。クロスリーは、第二次世界大戦中、ビッグ3の乗用車生産が止まっていた間に販売を伸ばした会社である。車自体はあだ花的で長くは続かず絶ち消えた。その後米国で本格的にディスクブレーキの採用が拡大するのは、欧州はもちろん日本よりも遅れ昭和40(1965)年代中頃からである。

昭和26(1951)年のロンドンモーターショーではダンロップやガーリングからキャリパー型ディスクブレーキが公開された。さらに翌年のロンドンモーターショーではダンロップ、ガーリング、ロッキード(オートモーティブプロダクツ)各社のディスクブレーキが展示され、これ以降レースを中心に本格的な実用化の時代に入った。

昭和28(1953)年ル・マンの24時間耐久レースで6個のピストンと、同径の摩擦材を有するダンロップ製の6ポットオポズド(対向)型ディスクブレーキを装着したジャガー XK120-C Type が上位を独占した。このディスクブレーキはブレーキ解放時のピストンの戻し機構(リトラクション機構)はなく、摩擦材は軽くディスクに接触した状態であった。このため摩擦材の早期摩耗、ブレーキ液温の上昇、走行抵抗が大きいため、この後ダンロップは機械的なリトラクション機構を導入することになる。いずれにせよディスクブレーキは、フェードせず効きが安定しているため、コーナーぎりぎりまで高速で突入できることが最大の利点であった。このレースでダンロップとジャガーチームが用意したディスクブレーキはディスクローターをまたぐキャリパー本体部分と液圧シリンダ部分に柱(Pillars)を入れ空気が流れる隙間を作り、冷却性を向上させたものであった(図6.33)。

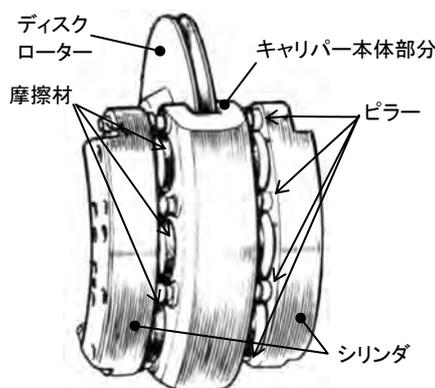


図6.33 ジャガーCタイプのレーサー仕様のディスクブレーキ^(注12)

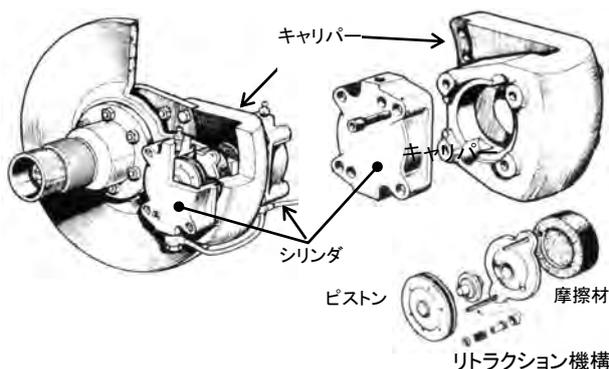


図6.34 市販車仕様のダンロップ型ディスクブレーキ^(注12)

この結果を受け、スポーティー車を中心に欧州でディスクブレーキ装着車が増えていった。これらの市販車用に再設計されたダンロップ型ディスクブレーキの構造を図6.34に示す。ディスクローターをまたぐU字型のキャリパーと、キャリパーの両側にピストンと摩擦材をローターに加圧する液圧シリンダをボルトで固定する。摩擦材にはローターとの適正クリアランスを保つためのメカニカルリトラクション機構が設けてある。

昭和27(1952)年のロンドンモーターショーにダンロップが発表したものは、基本的には翌年のル・マンのレースでジャガー XK120-C が装着したオポーズド6ポット型で、リトラクション機構がないものであった。これをダンロップはHydrastatic Self-adjusting principle と称していたが、その後リトラクション機構(詳細は後述する)を開発し一般車に用いることになった。ダンロップ製のディスクブレーキを装着したレーサーは世界各地のレース場で活躍した。

ダンロップはディスクブレーキの発展を促すため、その基本特許を英国ガーリング(現TRW)、オートモティブプロダクツ(ロッキード)、米国ベンディックス(現ボッシュ)、DBA(フランスベンディックス)、独アルフレッド・テーベス(現コンチネンタルテーベス)の各社に譲り、以降各社で独自の発展を見ることになる。

日本では住友電工がダンロップから技術導入し昭和39年にいすゞベレルに日本で初めてのディスクブレーキとしてオプション採用され、同年いすゞベレット1600GTに標準装備として採用された^(注13)。オポーズド型はしばらく住友電工の独占状態であった。

その後ダンロップは航空機用ブレーキに専念するため自動車用ブレーキに関する事業を昭和41(1966)年にガーリング社へ譲渡し、このビジネスから撤退した。このため住友電工はガーリングと技術提携することになる。

ガーリングは当初ダンロップのレース仕様と同じ機械的なリトラクション機構を用いない方式を踏襲した。その後、進化型であるシールの弾性変形を利用したシールリトラクション機構を採用した。ダンロップの複雑な機械的なリトラクション機構に対し、ディスクブレーキに余分な部品を付加することなく同じ機能を得ることができる画期的な機構である。ガーリングはさらに摩擦材(パッド)の交換を容易にするため、キャリパーのパッド上面を大きく開けたオープントップ構造としている。これは中心部で二分割し二つのシリンダ=キャリパーをボルトで締結する構造(図6.35)である。ダンロップもパッド交換の便宜を考え、キャリパーのパッドの装着部の上にパッド幅に相当する開口部を設けたMk2(図6.36)に変更した。オポーズド型はシリンダ材質をアルミ合金とし、さらに摩擦材やディスクローターの材質面も含め発展し、現代でも最新のブレーキ構造の一つである。

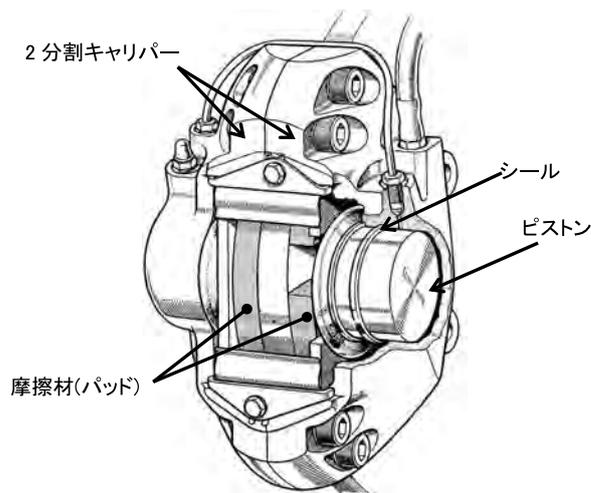


図6.35 ガーリングの初期のオポーズド型パッド装着部を大きく開放してパッドの交換を容易にしてある(オープントップ構造)。機械的なリトラクション機構は用いていない。^(注14)

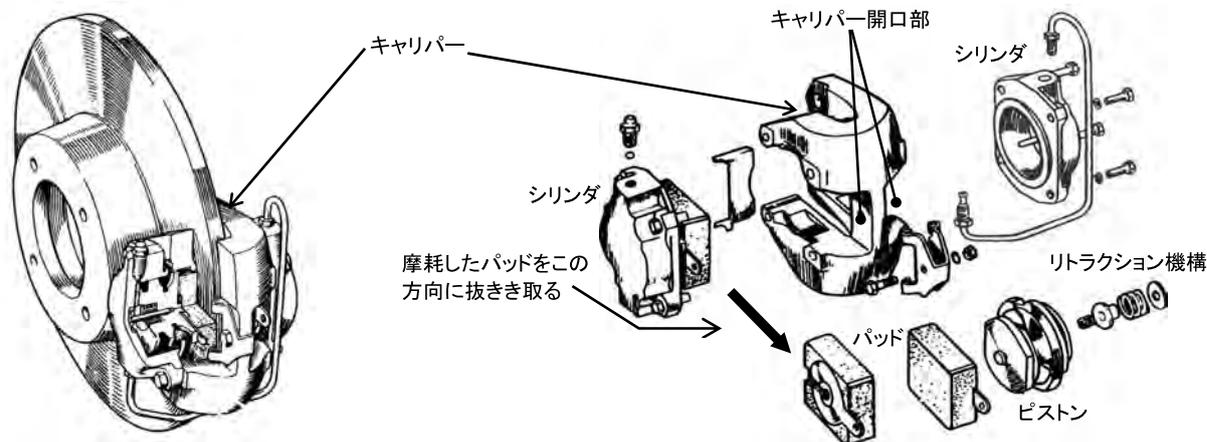


図6.36 ダンロップ Mk2 型ディスクブレーキ^(注15)

キャリパーのパッド挿入部を切り取って、パッドの交換を容易にした。リトラクション機構はピストンとシリンダ間に設けている。右は分解図。

図 6.37 は高性能車や SUV 車用として開発された最新の曙ブレーキ製のオポーズド型ディスクブレーキである。アルミ合金鋳物製で、シリンダが片側 2 個ずつ 4 個ある。この構造は昭和 27 年のル・マンの 24 時間耐久レースでジャガーが装着したダンロップ製ディスクブレーキと基本的コンセプトに変わりはない。外からホイールの間を通してディスクブレーキが見えるようにホイールのデザインがなされており、ディスクブレーキの外観も美しく仕上げられている。



図 6.37 最新のオポーズド型ディスクブレーキ曙ブレーキ「ブレーキ博物館」所蔵サンプル（筆者撮影）

(4) リトラクション機構について

ディスクブレーキはディスクローターの両側から摩擦部材（パッド）を押しつけることによって制動する。オポーズド型はローターを跨ぐキャリパーの両側にシリンダとピストンを保持しており、フローティング型はキャリパーの片側にシリンダとピストンを保持する構造になっている（図 6.38）。

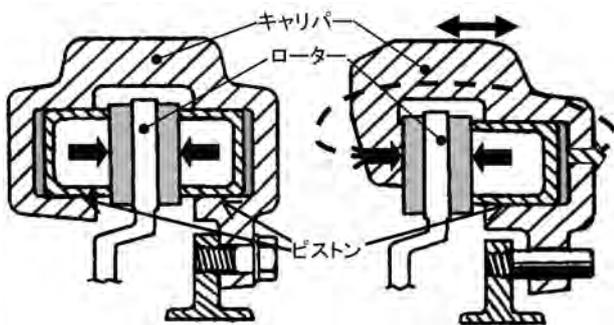


図 6.38 左がオポーズド型、右がフローティング型

ブレーキをかけるとオポーズド型は二つのピストンがそれぞれパッドをディスクに押しつける。フローティング型はシリンダが浮動できるようになっており、ピストンが押し出されると同時にシリンダは反力を受け反対方向に動き、この動きをキャリパーやフレームで反対側のパッドの伝え、ローターを両側から押さえつける様になっている。

ブレーキをかけると摩擦材（パッド）はローターに押しつけられ、ブレーキを緩めるとピストンに加わっている圧力は消え去るが、摩擦材はそのままローターに軽く接触したままになる。そのため、摩擦材早期摩耗、ブレーキ液温上昇、引き摺り抵抗増大のおそれがあった。これを嫌いダンロップはローターからパッドを僅かに引き戻す機械的なリトラクション機構を設けた。当初はピストンとパッドの間に設けたプレッシャープレートに対角線上に 2 個設けていた（図 6.34）。その後シリンダとピストンの間に設けるように変更された（図 6.36、6.39）。

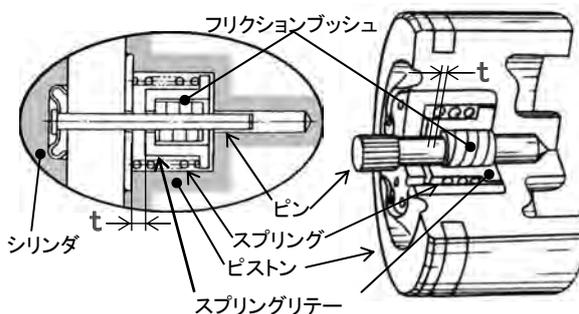


図 6.39 メカニカルリトラクション機構^(注16,17)

ピストン側にはスプリング、スプリングリテーナおよび弦巻バネ状のフリクションブッシュが組み込まれている。シリンダ側にはピンが固定され、ピストン側のフリクションブッシュの内径部に挿入されている。フリクションブッシュとピンはスプリング力よりも強い摺動抵抗を持つように設定されている。ブレーキをかけるとピストンがスプリングを圧縮して移動する。パッドの摩耗等でピストンの相対移動量が隙間「 t 」を超えるとフリクションブッシュがピストンに押しされピン上を滑る。ブレーキを緩めると一定値「 t 」だけ戻り隙間は一定値「 t 」に保持される^(注16)。

図 6.40 はシールリトラクション機構である。シールの形状（角リング）とシール溝の形状を工夫し、加圧されてピストンが動くときにつれてシールが弾性変形し、圧力を緩めると元の形状（拡大図の破線で示す）に戻り一定の隙間「 t 」を保持される。パッドの摩耗によりピストンとシリンダの相対移動量がシールの弾性変形量「 t 」を超えると、ピストンがさらに摺動し、摩耗等で増加した隙間が補正される。ブレーキを緩めるとシール弾性変形分だけ戻ることになる

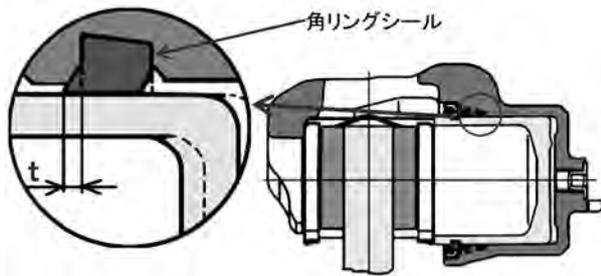


図 6.40 シールリトラクション機構
左上拡大図のようにゴムシールの弾性変形を利用する

リトラクション機構はパッドとディスクローターの隙間を常に一定に保とうとするものであり、パッドの摩耗の自動調整装置である。ディスクブレーキはセルフサーボ効果がないので、マスターシリンダの直径の2倍程度の大径のシリンダを用いるから、この隙間「t」を小さな一定値に保つことは重要なことである。

(5) フローティング型ディスクブレーキの登場とその発展

昭和 27(1952)年のロンドンモーターショーでオートモーティブプロダクツ (AP 社; 英ロッキード) が発表したディスクブレーキ (図 6.41) はダンロップとガーリングがオポーズド型であったのに対し

- ① フローティングキャリパ型であること、
 - ② フィスト型ピンスライダーであること、
 - ③ 軽合金を採用していること
- と、かなりユニークなものであった^(注18)。

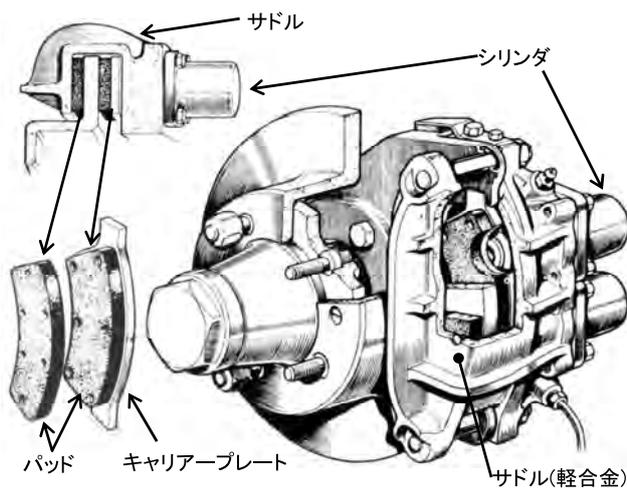


図 6.41 AP 社が昭和 27 年のロンドンモーターショーで発表したフローティング型ピンスライドディスクブレーキ^(注18)

昭和 38(1963)年ルノーがフローティング型を採用し、その後フロントエンジン/フロントドライブ (FF) 車の増加に伴いオポーズド型からフローティング型

へ移行が進んだが、AP 社はそれを先取りするフローティング型として開発していたのである。しかし、その後すぐにオポーズド型に変更したのはダンロップやガーリングを横目で見ての結果であろう。AP 社はフローティング型をこの 11 年後昭和 38(1963)年に SC 型として発表することになる。

シトロエンは昭和 30(1955)年に実用車として世界で初めてスポット型フローティングタイプのディスクブレーキ (図 6.42) を採用している。ブレーキユニットの配置は車輪側ではなくトランスミッション側に配置したインボードタイプである。この車は前輪駆動、フルパワーブレーキ、ハイドロニューマチックサスペンションなど当時の最先端技術を採用していたことでも有名であった。このディスクブレーキはかなりユニークなものであったが、その後フルパワーブレーキ自体が次第に用いられなくなったこともあり、この風変わりなディスクブレーキは絶ち消えた。このディスクブレーキには足踏みのペダルで作動させるメカニカル作動の駐車ブレーキが内蔵されていた^(注19)。駐車ブレーキが前輪に作用するので油圧が失陥した場合ペダルを踏み込むことにより強力な非常ブレーキとしても十分に使えたという。

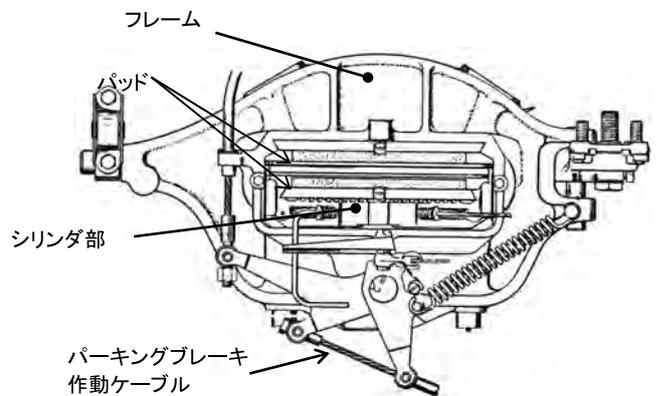


図 6.42 シトロエンのフレームタイプのディスクブレーキ
(FERODO BRAKE SERVICE GUIDE^(注19))

昭和 32 (1957) 年のロンドンモーターショーへ出品されたディスクブレーキ装着車は、
 ダンロップ 標準装備 プリステル 406Export (F&R)
 ジェンセン 541 シリーズ
 ジャガー XK150
 オプションジャガー 2.4L
 ガーリング 標準装備 トライアンフ TR3
 アストンマーチン DB III

などで、以降欧州車を中心にオポーズド型のディスクブレーキ装着車が急速に増加した。このディスクブ

レーキ黎明期から、昭和 38(1963)年にフランスベンディックス (DBA) の F 型に続いて AP 社の SC 型、ガーリング社のアネット型などのフローティング型が発表されるまではオポーズド型が全盛であった。DBA のフィスト型のフローティングディスクブレーキ (FS1 型: 図 6.43) が昭和 38(1963)年にルノーのドフィーヌ・フロリドに採用され、翌年にはさらに他のルノー車に拡大採用された。日本では曙ブレーキが DBA と技術提携し昭和 39 年日野コンテッサ 1300 にオプション採用された。

昭和 40(1965)年、英ガーリング社のフレームタイプのフローティング型ディスクブレーキ (アネット

型: 図 6.44) がルノー R16 に採用された。日本では、アネット型はトキコが技術導入しホンダ S800 に昭和 43 年から量産納入を始めた。AP 社は鋼板フレーム型で、フレームが車体取り付け部材に対しスイングする SC 型 (図 6.45) を発表、曙ブレーキが技術導入し昭和 42(1967)年に日産ブルーバードに採用され、欧州では昭和 43(1968)年に BMC1300 シリーズに採用されるなど、フローティング型の採用が拡大した。この時期ディスクブレーキの採用に熱心であったのは欧州であり、やや遅れて日本であった。米国はデュオサーボブレーキに執着し、ビッグ 3 がディスクブレーキを本格的に採用し始めるのは日本より数年遅い。

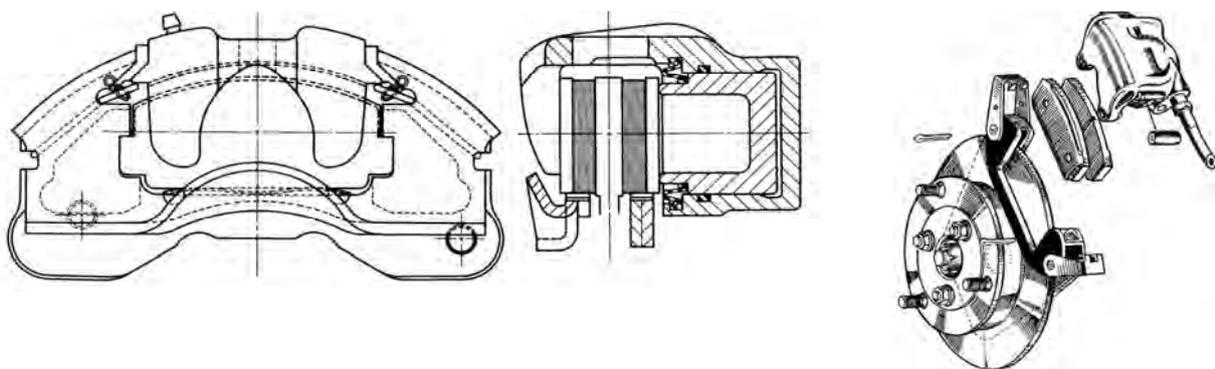


図 6.43 フランスベンディックス (DBA) が開発したフィスト型の F 型ディスクブレーキ (上図は曙製の F 型、左図は初期の F 型の分解図) 曙製 F 型の図は曙ブレーキ社史 (半世紀のあゆみ) から、F 型分解図は住友電工技報「住友電気第 84 号」より

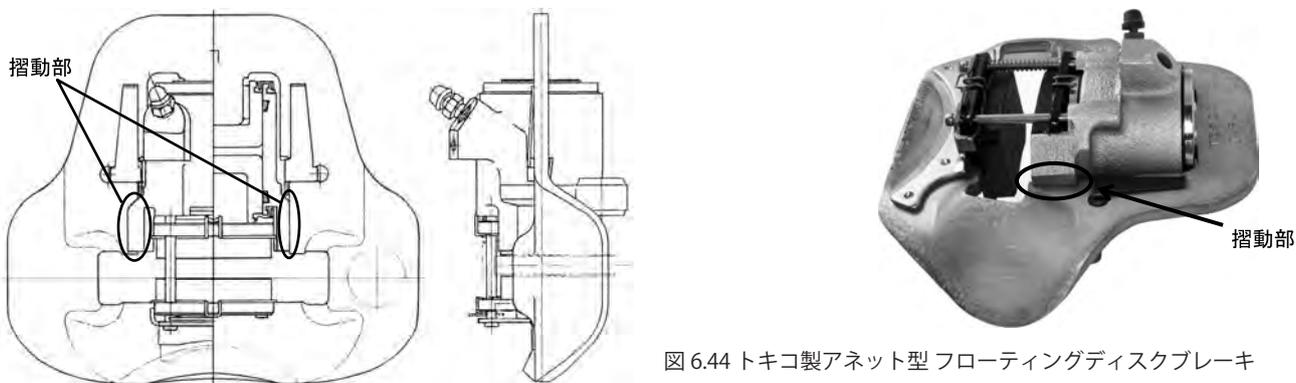


図 6.44 トキコ製アネット型フローティングディスクブレーキ (図および写真日立製作所提供)

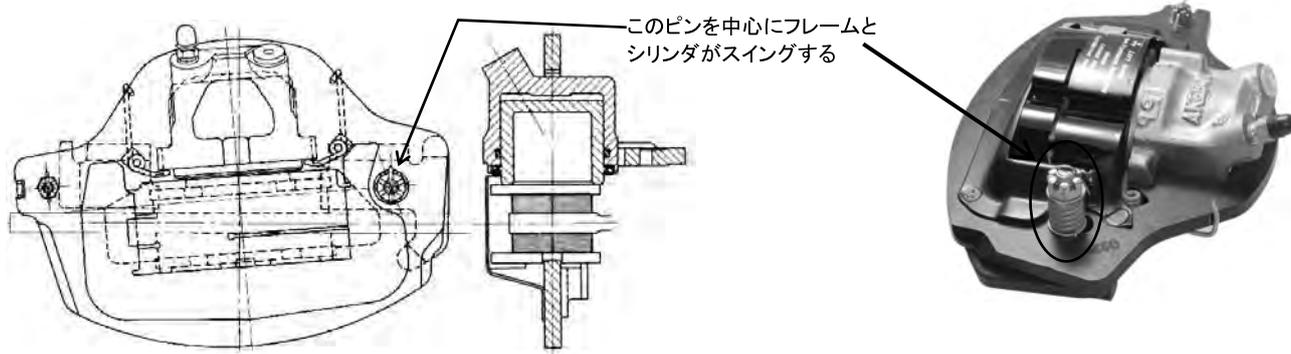


図 6.45 曙ブレーキ製 SC 型フローティングディスクブレーキ 曙ブレーキ社史「半世紀の歩み」より、写真は曙ブレーキ博物館にて撮影

オポズド型とフローティング型を比較すると、オポズド型は①構造が簡単で部品点数が少ないこと（精密加工を要するピストンやシリンダが二重に必要でコスト的には高くなりがちである）、②浮動部材による摺動部がないため振動、錆、泥に強いことなどの長所を持っている。しかし、ディスクを跨いで両側にシリンダがあり、一方のシリンダが必ず車輪とディスクの間に位置するので、①装着スペースの制約がある、②車輪とディスクに挟まれたシリンダの冷却性が悪い、③車輪とディスクの間にあるシリンダへの液圧通路を高熱となるディスクの近く（図 6.46 の A 部）を通すためペーパーロックを起こしやすいなどの短所を持っている。

一方フローティング型はシリンダがディスクの片側にしかなく、①車輪とディスクの間にシリンダを配置しなくても良いので取り付けスペース上の制約が少ない、②シリンダの冷却性が良いという長所がある反面、浮動部材のための摺動部があるので、①振動、錆、泥などの影響を受けやすい、②摺動部の構造が複雑になり部品点数が多くなるなどの欠点を有する。

フローティング型の拡大の背景には、シリンダの冷却性、装着スペース、安い製造コストなどの要因があった。中でもシリンダの冷却性はブレーキ液の Wet 沸点（水分を吸収したときの沸点、ドライ時 200℃以上あった沸点が 5% 吸水すると 140℃ぐらいまで下がる）が低かった当時では問題であった。

図 6.46 にオポズド型とフローティング（フレームタイプ）型の装着性および冷却性の比較を示す^(注20)。

昭和 40 年代初めから日本でも急速に採用が増えたフローティング型はフィスト型にしてもフレーム型にしても摺動部が露出した鋼板や鋳鉄となっており、塗

装、メッキ、グリースの塗布などで対処しているとは言え錆び付き固着に関しては完全とは言えなかった。当時は走行中の振動や、日常のブレーキ作動で錆びることはあっても、固着までいたるとは想定していなかった。しかし、フローティング型を装着した対米輸出車の、当初の北米西海岸主体の販売から、北米東海岸特に五大湖周辺（カナダを含む）への販売数の増加に伴い、冬期を経過した後に錆び付き固着のクレームが多発した。

図 6.47 に示すようにこの地域では冬期に道路の融雪剤として多量の岩塩が散布されている。この岩塩が溶けた高濃度の塩水が足回りに付着、ディスクブレーキの摺動部が錆び付き固着するのである。

図の散布量はこの問題が表面化した当時の散布量である。ごく最近の米国運輸省（DOT）の資料では、北は五大湖周辺諸州から南はミズーリ州とヴァージニア州を結ぶ線までの米国東北 21 州に及ぶ広大な地域で岩塩散布が行われている（図 6.47 上の地図は米国運輸省「DOT」の資料を基に筆者が作成した）。

摺動部を錆び付き固着からまもるには密閉摺動（クローズドスライド）型にするのが最も有効であり、世界中のブレーキメーカーはクローズドスライドのディスクブレーキに取り組むことになった。世界で最も早い時期にこれに対応したのはトヨタ自動車、住友電工と共同で開発したスライド部を保護したセミクローズドタイプのフローティング型（PS 型、図 6.48）を昭和 46（1971）年からカロラに採用した。その後ガーリング、テーベス社など欧州のブレーキメーカーがフィストタイプのクローズドピンスライド型のディスクブレーキを発表するのだが、これにはさらにもう一つの要因があった。

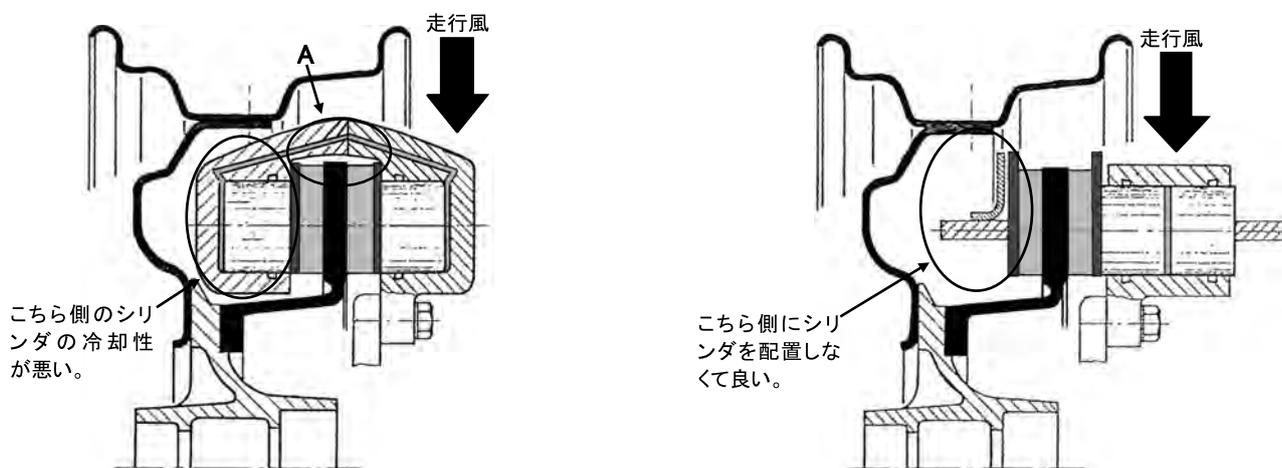


図 6.46 オポズド型とフローティング型の冷却性^(注20)

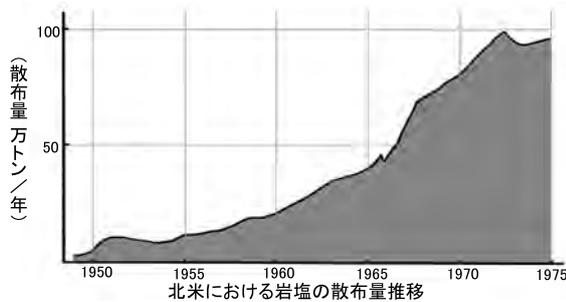


図 6.47 北米における融雪剤としての岩塩の散布

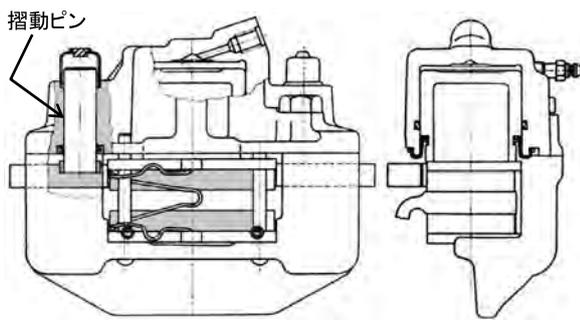


図 6.48 トヨタカローラに採用された PS 型ディスクブレーキ
(日本機械学会機械図集 ブレーキより)

(6) ゼロスクラブ半径への対応 (図 6.49)

昭和 48(1978)年の第一次石油危機以降、小型・軽量化が図れ低燃費となる FF 車が増加した。この事はディスクブレーキの設計にもう一つの課題を加えることになった。前輪のスイベル軸（アッパーマウントからロアーアームのボールジョイントを結んだ操舵時の車輪回転軸）の接地点とタイヤの接地中心との距離をスクラブ半径と呼ぶが、走行安定性をよくするために、FF 車はこのスクラブ半径をゼロからややマイナス側に持ってくるのが普通である^(注21)。当時の乗用車の大半を占める FR 車は、据え切りや低速時のハンドル操作力低減のためスクラブ半径をかなりプラス側、タイヤ幅 150mm に対しスクラブ半径をプラス 50mm ぐらいにしていたので、オポーズド型でも装着性は問題がなかった。

ネガティブ（マイナス）スクラブは、昭和 49(1974)年発売のフォルクスワーゲンのゴルフ（FF 車）が

採用したのが最初で、最近の FF 車ではタイヤ幅 200mm に対し、マイナス数 mm からプラス 10mm 程度になっている。この結果ディスクブレーキはホイールの中に押し込められることになり、図 6.49 に示すようにホイール側にシリンダのないフローティングタイプのフィスト型が好ましい。

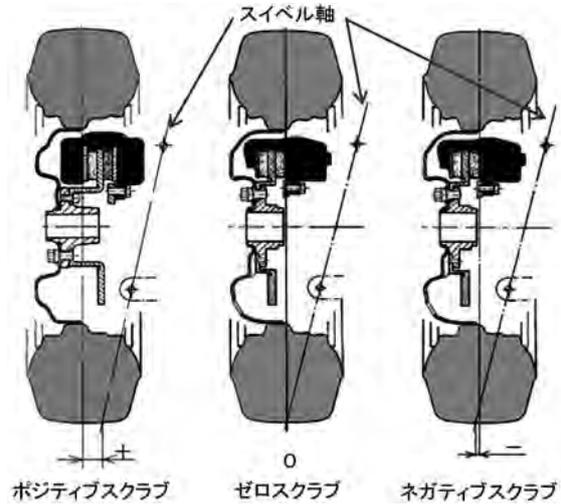


図 6.49 スクラブ半径とディスクブレーキの装着性^(注21)

このような経緯から、クローズドスライドのフィスト型ディスクブレーキが昭和 40 年代末から増加した。

図 6.50 は昭和 50 ~ 52(1975~77)年に英ガーリングが欧州、米国、日本などで特許を取得したコレット型と呼ばれるクローズドスライドのフィスト型ディスクブレーキで、日本ではガーリングと提携関係にあった住友電工が昭和 53(1978)年にトヨタクラウンに、また同じくトキコが昭和 54(1979)年から日産セドリック、ホンダシビックなどに供給を始めた。

コレット型はピンボルトを外すとスライド部分を分解せずにキャリパー（シリンダ）をもう一方のピンを支点に回転させると簡単にパッド交換ができる。曙ブレーキは F 型をベースにした、クローズドピンスライドのフィストタイプ（AD 型、図 6.51）を独自開発し、昭和 53 年に富士重工業（現スズキ）に、昭和 54(1979)年にはトヨタカローラに採用された。初期の AD 型はガーリングのコレット型に対しスライドピンがトルクメンバーに取り付けられ、トルクメンバーの反対側にスライド部を設けた形になっていたが、後にコレット型と同様にシリンダ側にスライドピンを設け、スライド部をキャリパー（シリンダ）の重心に近いトルクメンバー側に持ってきている。トヨタ自動車も独自設計の PSF 型と称するコレットタイプのピンスライドフィスト型ディスクブレーキをグループ内統一仕様で生産するようになった。ピンス

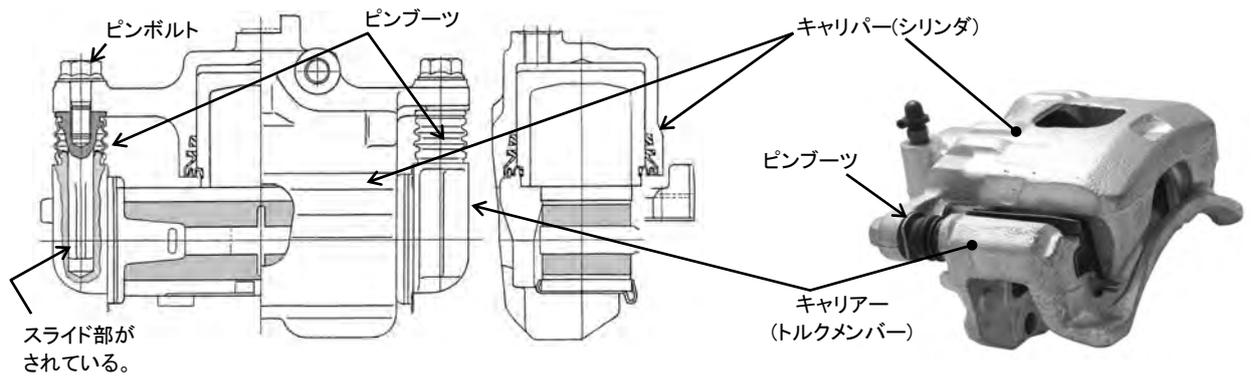


図 6.50 トキコのコレット型ディスクブレーキ
 図は日立製作所提供図面より作成、写真は日立製作所提供サンプルを撮影

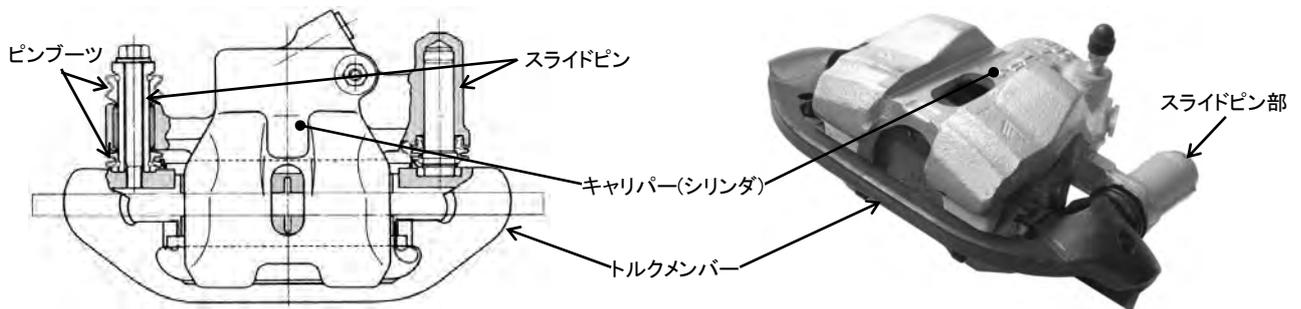


図 6.51 曙ブレーキ AD 型ディスクブレーキ
 (曙ブレーキ社史「半世紀の歩み」および曙ブレーキ提供写真より作成)

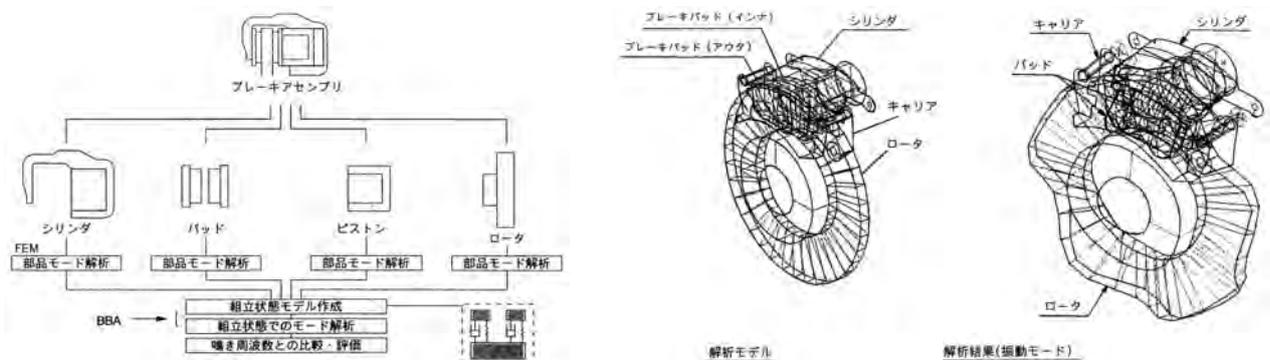


図 6.52 部分構造合成解析 (BBA) によるブレーキ鳴きの解析^(注22)

ライドのフィストタイプはその後のディスクブレーキの基本構造となり、各社とも有限要素法 (Finite Element Method、FEM)、複素固有値解析 (Complex Eigenvalue Analysis) などを用いたブレーキジャダーやブレーキ鳴きなどの発生メカニズムの解析、強度解析、伝熱特性解析などの結果を盛り込んだ構造開発を続け、それぞれに特徴はあるが類似の構造形状に落ち着き現在に続いている。図 6.52 にコンピューターを用いた部分構造合成解析 (BBA) (注 22) によるブレーキ鳴き解析の例を示す。このように最近では実機を用いずコンピューター上で設計図段階での解析が可能になり、試作期間を大幅に短縮できるようになった。

クローズドスライド フィスト型ディスクブレーキはこのような経過をたどり現在主流のブレーキ形式の一つとなっている。これからもまだしばらくはホイールブレーキの主役であり続けるであろう。

(7) 駐車機構 (ハンドブレーキ) 付ディスクブレーキ
 通常後輪ブレーキには機械作動式の駐車ブレーキ機構が設けられている (シトロエン DS19 や富士重工のスバル レオーネのように前輪駆動車で前輪に駐車ブレーキを装着した例もある)。

ディスクブレーキに駐車ブレーキ機構を設ける方法には、別に駐車ブレーキ専用の機構を設けるか、ディ

スクブレーキの内部にその機構をはめ込む（ビルトイン）必要がある。

(7.1) 駐車ブレーキ専用の別機構を用いる方式

初期のオポーズド型に用いられた方式で、キャリア部に別の駐車ブレーキ専用の機構を併設したものである。キャリア部に支点を有するリンク機構で、入力を拡大して駐車ブレーキ専用の摩擦材をディスクに押しつける構造となっている。静摩擦係数の大きい駐車ブレーキ専用摩擦材が選択できるメリットがあるが、ケーブルの引き回しの自由度や装着スペースに問題があり、ディスクブレーキ採用の初期に用いられたのみで最近では駐車ブレーキ専用のドラムブレーキをディスクローターの中に設けたドラムインディスクに取って代わられた。いずれも常用ブレーキとは別の駐車ブレーキ専用の機構なので、駐車ブレーキに特化した設計になっている。

図 6.53 はガーリング社のハンドブレーキ機構付ディスクブレーキの例で、リンク機構により入力を拡大して摩擦材に伝えるような工夫が施してある。

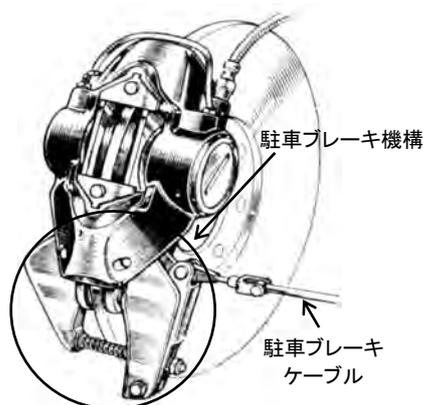


図 6.53 オポーズド型の駐車ブレーキ機構
「FERODO BRAKE SERVICE GUIDE より」

図 6.54 はドラムインディスクの例で、この例ではフレーム型のディスクブレーキ（アネット型）と帽子型のディスクの中に小径の機械作動のデュオサーボドラムブレーキが設けられている。デュオサーボブレーキは小さな入力で大きなブレーキ力が得られるので、駐車ブレーキ専用であれば小径のドラムで十分なブレーキ力を発揮できる。最近 ABS 車の増加に伴い、4 輪ディスク車が増加し、その中で排気量 2000cc 以上の乗用車、SUV 車などの車体重量の大きい車両に用いられている。

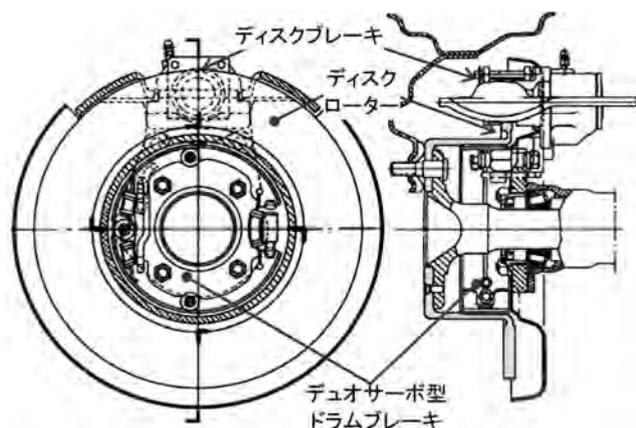


図 6.54 ドラムインディスク型駐車ブレーキ機構
技報「トキコレビュー Vol.22 No.1」より

(7.2) ビルトイン型駐車ブレーキ機構

ディスクブレーキの作動シリンダ内に駐車ブレーキのメカニカル作動機構を組み込んだもので、その機構には、①操作力を拡大するメカニズムを組み込むこと、②自動摩擦材（パッド）摩耗調整装置を設けること、の2点が重要な設計課題である。自動調整装置はサービスマスターブレーキの作動圧力で調整するため、最小のパッドクリアランスを保ちながら過調整（オーバーアジャスト）しないような設計とすることが望ましい。ビルトイン型の駐車ブレーキは入力を拡大する機構を用いているとは言え、静摩擦係数が大きい駐車ブレーキ専用の摩擦材を選べないので駐車ブレーキとして十分なブレーキ力を得にくい欠点がある。比較的小型車に多用されている。

図 6.55 は曙ブレーキの F 型ディスクブレーキに内蔵されたビルトイン型駐車ブレーキ機構で一回のブレーキ操作（ワンショット）で隙間調整を完了する自動調整装置を内蔵した機構となっている。

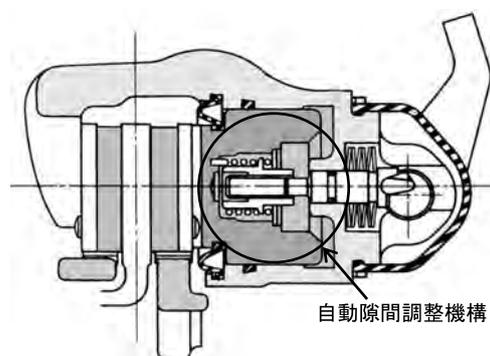


図 6.55 曙製駐車ブレーキ機構付 F 型ディスクブレーキ
曙ブレーキ社史「半世紀の歩み」より

図 6.56 は昭和 56(1981)年から日産シルビアやホンダアコードなどに採用された、所定の作動液圧以上で隙間調整を停止する過調整防止機構付（ロードイン

センシティブ型) ディスクブレーキである。ロードインセンシティブ型は日本で開発され、発達した駐車ブレーキ機構付ディスクブレーキである。

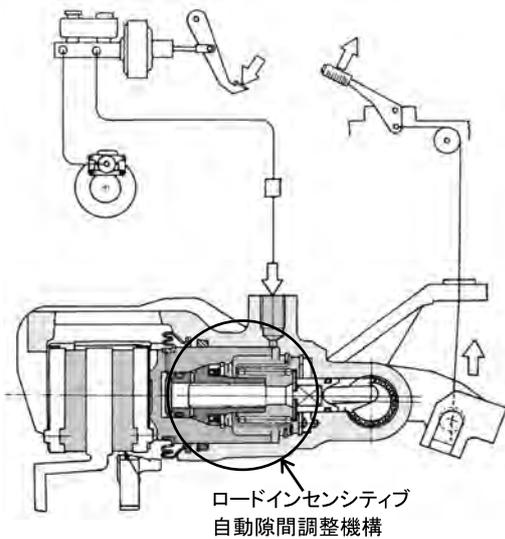


図 6.56 トキコ製駐車ブレーキ機構付コレット型
トキコレビュー Vol.26 No.1 より

ロードセンシティブ型は高圧のブレーキをかけると各部の弾性変形分を隙間として調整するので過調整となる。その危険性を避けるため常用の残留隙間を大きくする必要がある。

それに較べロードインセンシティブ型は所定圧で調整をストップするので初期残留隙間を小さくできる。高い液圧負荷が繰り返され過調整となる危険性が高い ABS 装着車用として歓迎され、日本では、ビルトイン型はほとんどロードインセンシティブとなった。図 6.57 にロードインセンシティブ型とロードセンシティブ型調整機構の残留隙間の比較を示す。

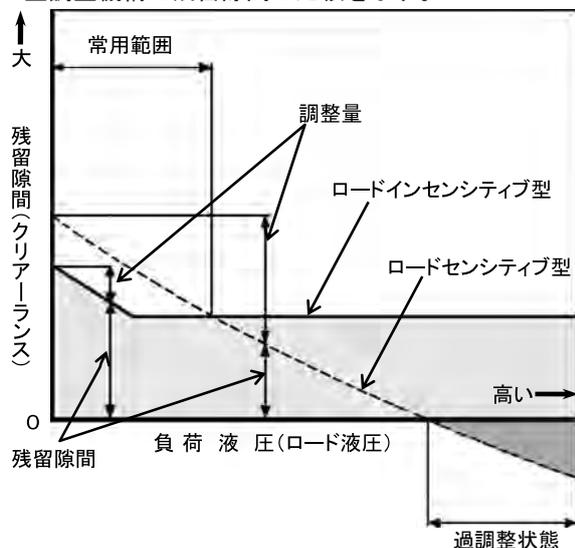


図 6.57 自動調整装置の液圧検知特性図
トキコレビュー Vol.26 No.1

米国や欧州の自動車メーカーにも ABS 装着車を中心に採用が拡大し現在に至っている。

6.3.2 ドラムブレーキ

現代のドラムブレーキは、ホイールと一体回転するドラム状の回転体に摩擦材を貼ったブレーキシューを押しつけブレーキ力を発生する装置である。自動車の初期においてはドラムの外側からシューを締め付ける、「外部縮小式ドラムブレーキ」であり、その後 1910 年代にはドラムの内部からシューを押し広げる「内部拡張式」へと進化してきたことは既に述べた。

ごく初期の内部拡張式ドラムブレーキは外部縮小式ブレーキのブレーキバンド（摩擦材を貼り付けたスチール製バンド）の表裏を反転してドラムの中に入れ、カム作動で押し広げるようにしたものであった（図 6.58）。摩擦材（ブレーキライニング）はアスベストを帯状に編んで樹脂を含浸し固めたウーブンライニングと呼ばれるもので、外部から侵入する水分や泥の影響を受けやすい。

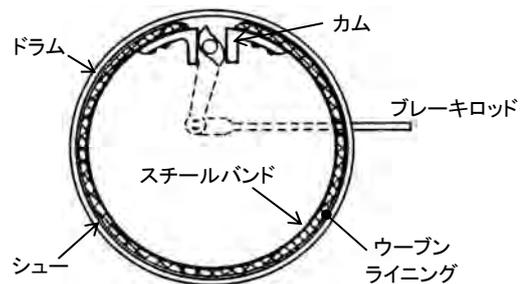


図 6.58 初期のドラムブレーキ (Brake Dynamics)

このため短繊維のアスベストをフェノール樹脂などの熱硬化性樹脂を用いて型成形した硬度の高いモールドライニングとなりシュー自体も 2 分割された（図 6.59）。

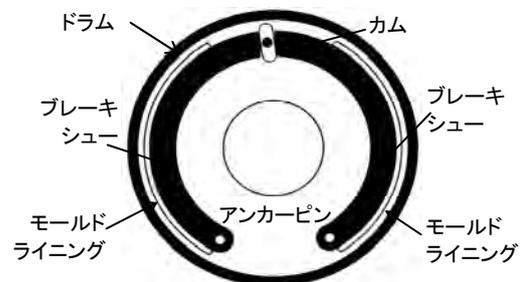
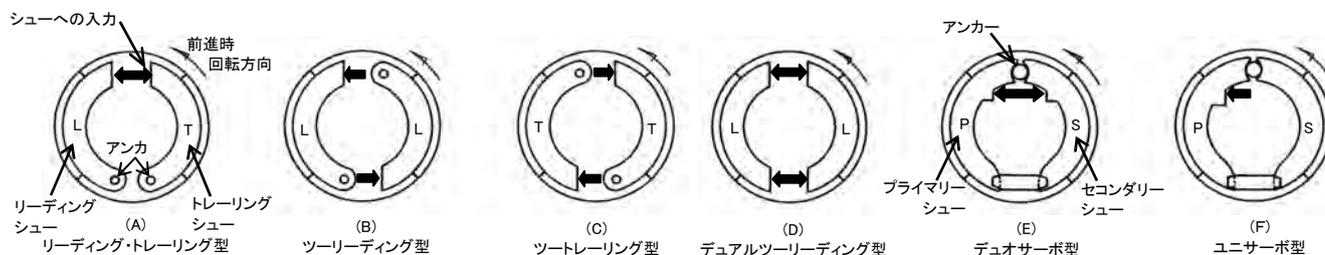


図 6.59 モールドライニングのドラムブレーキ
(Brake Dynamics)

シューが受けるブレーキ力はアンカーピンで受ける構造となり、基本的にはドラムブレーキの構造は現在でもこれと同じである。

2分割されたシューは、ドラムの回転方向と同一方向に入力を受けるシューをリーディングシュー、逆方向に入力されるシューをトレーリングシューと呼ぶ。前進方向でのリーディングシューは後進方向ではトレーリングシューとなる。リーディングシューにはドラムの回転によって巻き込まれることによりシューへの入力に対し出力の増大効果があり、これをセルフサーボ効果と呼ぶ。このセルフサーボ効果の利用仕方の違いでドラムブレーキは6形式ある(図6.60、ブレーキ形式毎のセルフサーボ効果による効きの違いは前掲の図6.24参照P12)。

なお(E)と(F)のサーボブレーキは前進方向ではいずれのシューもリーディングシューとなる(デュオサーボは後進方向も)のでプライマリーシュー、セコンダリーシューと呼び分ける。



6.60 ドラムブレーキの形式

(日立製作所「トキコレビュー Vol.22 No.1」より作成)

(1) ドラムブレーキ各形式の特徴 (図6.60参照)

A) リーディング・トレーリング (LT) 型

セルフサーボ効果が働くリーディングシューが1個でありブレーキ効力は大きくないが、前進後進両方向に同じブレーキ力が確保できるので、駐車ブレーキとして適している。現在でも主流のブレーキ形式の一つである。

B) ツーリーディング (2L) 型

前進方向には2個のシューがリーディングシューとして働きセルフサーボ効果が大きい。ディスクブレーキが採用されるまではフロントブレーキ用として多用された。後退するときはツートレーリング型となりブレーキ力は期待できなくなる。ディスクブレーキの普及により昨今は乗用車系、ピックアップトラックなどでは使われていない。

C) ツートレーリング (2T) 型

セルフサーボ効果が全くないのでブレーキの効きは良くないが安定性に優れる。通常この形式で用いられることはない。

D) デュアルツートリーディング (D2L) 型

前後進両方向でツートリーディング型になるようにエ

夫された構造である。

E) デュオサーボ (DS) 型

ホイールシリンダの入力を受けるプライマリーシュー(リーディングシューでもある)と、プライマリーシューのアンカー側を浮動アンカーで連結したセコンダリーシューとからなる構造。セコンダリーシューの入力がプライマリーシューの出力であり、セルフサーボ効果が大きいのでこの構造をサーボブレーキと称する。この形式は米国で1930年代の機械式から始まり広く普及した。日本車でも昭和30(1955)年代は図6.63に示すように前輪ブレーキの50%以上のモデルに装着されていた。しかし摩擦係数の変化により効き過ぎ(いわゆるカックンブレーキ)や、効きの急激な低下など不安定さが目立ち、より安定性のあるツートリーディングに、さらに昭和40(1965)年代

中頃から更に安定性のあるディスクブレーキへの転換が進んだ。

F) ユニサーボ (US) 型

デュオサーボが前進、後進両方向でサーボ効果があるのに対し、前進方向のみサーボ効果を利用するようにしたもので、駐車ブレーキを併設しないですむ前輪用として用いられた。

(2) ドラムブレーキの発展と今後について

初期の機械式作動のLT型ドラムブレーキには、S字状のカムを用いたカム作動式(図6.58、6.59参照)とウェッジ(くさび)を用いたウェッジブレーキがあった。

図6.61にガーリング社のウェッジ作動のLTブレーキを示す。エキスパンダと呼ばれる作動装置の中に円錐形のウェッジ(コニカルウェッジ)とローラがあり作動ロッドを引くとローラがコニカルウェッジにより押し広げられ、タペットを介してブレーキシューを押し広げる構造となっている。

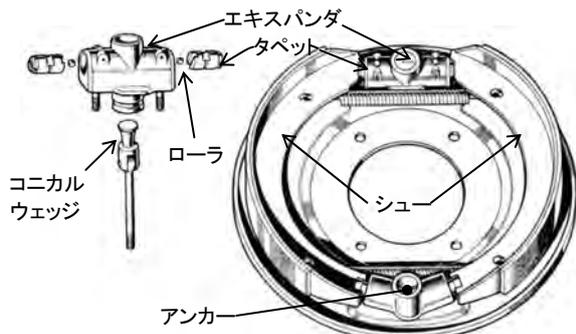


図 6.61 初期の LT 型ウェッジ作動ドラムブレーキ
(ガーリング社サービスマニュアルより)

カムやウェッジによる作動は大型車用エアブレーキのドラムブレーキのエアチャンバーを使ってカムやウェッジを作動させるブレーキとして現在でも用いられている。ウェッジブレーキのエキスパンダを液圧作動シリンダに置き換えると図 6.62 に示すような LT 型液圧式ドラムブレーキに発展する。



図 6.62 初期の LT 型液圧ドラムブレーキ
(ガーリング社サービスマニュアルより)

6.3 項の初めにホイールブレーキ概説で記述したが、フロントブレーキは、昭和 50 年代末にはほぼ 100% ディスクブレーキ化が進んだ。

リアブレーキに関しては図 6.63 のグラフに示すように、昭和 40 年代まではドラムブレーキの装着が普通であった。①リアはフロントに比べブレーキカの負担が少ないこと、②駐車ブレーキ機能を持たせることが多いこと、③ドラムブレーキが低コストであることが主な理由である。その後高性能車を中心にリアにもディスクブレーキを装着する車両が増え、昭和 60 年頃にはディスク装着モデル数は 20% 程度まで増えた。

このほかにドラムブレーキは、後輪ディスクブレーキ装着車の駐車ブレーキ専用ブレーキとして小型のメカニカルデュオサーボブレーキ(図 6.54 ドラムインディスク参照)が使用されている。

近年、事故回避性能向上を求める社会的ニーズに応えるため ABS 車の装着車が増加している。ABS のきめ細かい圧力制御への応答性向上、ディスクブレーキ化されたフロントブレーキとの最適化を求め、リアブレーキをディスクブレーキとする車が増加傾向にある。

リアのディスクブレーキの装着率は昭和 59(1984)年で 20%であった^(注23)が、平成 13(2001)年版「国産自動車諸元表」(2002 年から国産自動車諸元表は

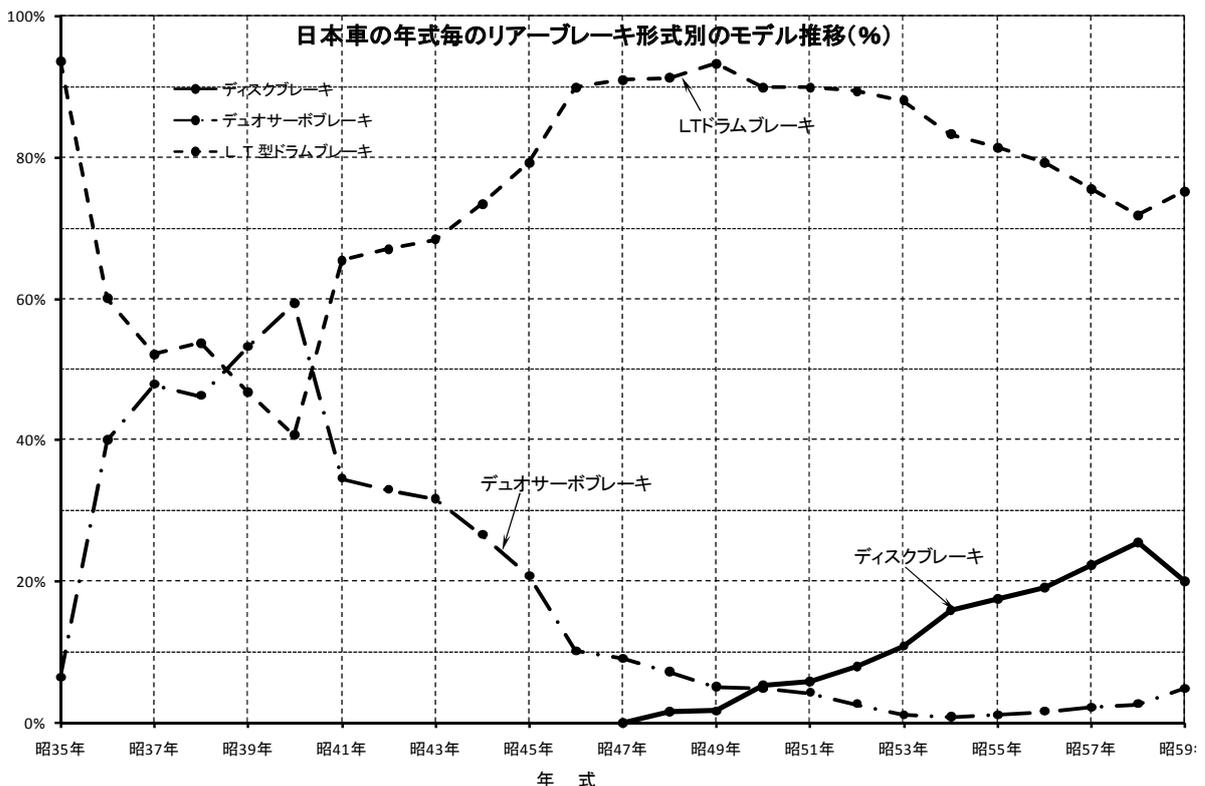


図 6.63 リアブレーキのブレーキ別モデル数推移^(注23)

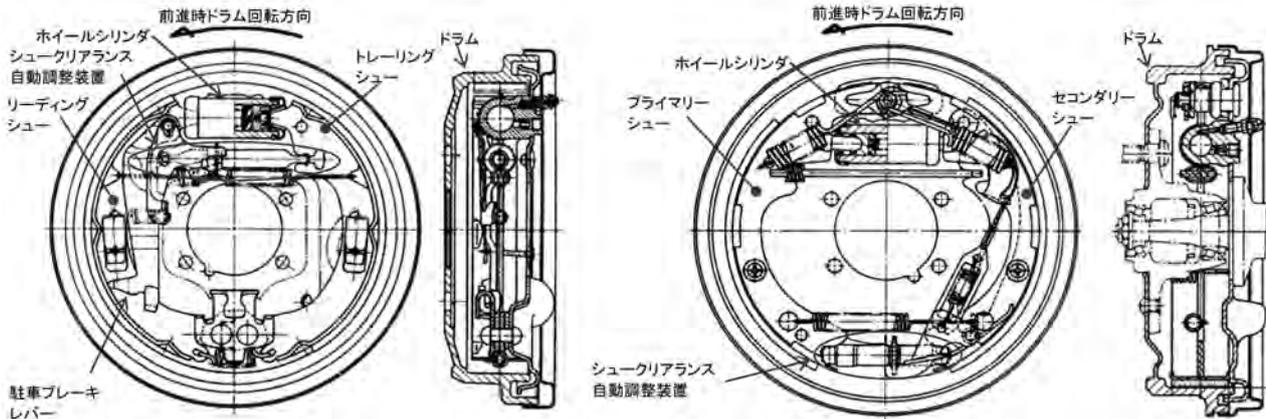


図 6.64 ドラムブレーキの例 左：LT 型、右：デュオサーボ型
(日本機械学会編 機械図集「ブレーキ」より)

CD-ROM 化されて表記方法が変わり、以前のデータとの整合性が取りにくいので印刷物であった 2001 年版に拠ると普通乗用車の 75%、小型乗用車の 23%、軽乗用車 3%、乗用車全体では 45% のモデルのリアがディスク化され、ドラムブレーキの装着率は大きく低下している。この装着率は平成 20 (2008) 年でもやや低下しているが大きな違いはない、(2001 年との整合性はないが 2008 年版 CD-ROM で見たドラムブレーキ装着モデルは全体で大凡 50% である)。リアのディスクブレーキ化は緩やかではあるとしても今後もさらに進むと思われる。ドラムブレーキは僅かに駐車ブレーキ専用のドラムインディスクとしてメカニカル作動のデュオサーボブレーキが残るのみである。

昭和 40 年代、最盛期のドラムブレーキの例として LT 型と DS 型の 2 例を図 6.64 示す。

6.4 倍力装置 (ブースター、サーボモーターと呼ぶ、以下ブースターと表記する)

倍力装置 (ブースター) とは運転者のペダル踏力を助勢する装置である。通常自動車のブレーキに用いられるブースターには、真空圧や圧縮空気圧を用いた気圧式ブースターと、エンジン駆動もしくは電動モーター駆動のポンプで発生させた液圧を用いた液圧式ブースターがある。また古くはシトロエン DS19 とその後継車に採用されたような、人力 (踏力) に頼らず全てポンプ液圧によるフルパワーブレーキも一種のブースターと言えるが、技術内容が大きく異なり、採用例も少ないので本稿ではフルハイドロリックを含め液圧式ブースターは取り上げない。

現在一般的に用いられているブースターはほとんどの場合ガソリンエンジンのインテークマニフォールドに発生する真空圧を利用する真空ブースターであり、大気圧

と真空圧の差圧を用いる。不作動時パワーシリンダ内を真空圧に保ち、作動時パワーピストンの片側に大気圧を導入するタイプと、不作動時は大気圧に保ち作動時真空源から吸引するタイプがある。真空吸引型は応答性に問題があり現在は全て大気導入型である。

気圧式ブースターにはその取り付け位置により三種

- ① ペダルアシスト型：
リンケージによりペダルを直接助勢する
- ② 間接型：
マスターシリンダとホイールブレーキの間に配置
- ③ ダイレクトアクティング型：
ペダルとマスターシリンダの間に配置

に分類される。ペダルアシスト型とダイレクトアクティング型はほとんどが真空式であるが、間接型は大型車両に用いる場合圧縮空気 (0.5 ~ 0.6Mpa) を用いる場合が多い。

ペダルアシスト型は図 6.65 に示す様な 1950 年代にクライスラー車などに用いられたケルシー・ヘイズ (Kelsey-Hayes) 社製ブースターの例が知られている。

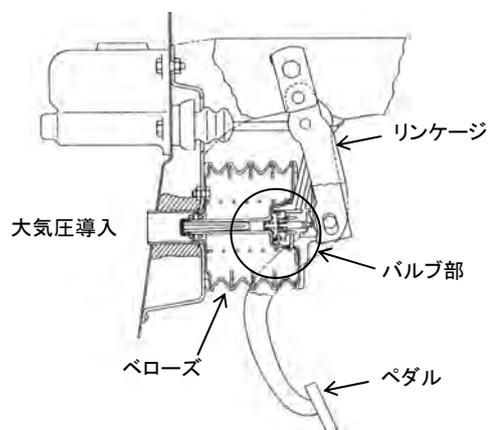


図 6.65 ペダルアシスト型ブースターの構造
(Brake Dynamics)

通常ペローズ内は大気圧になっておりペダルを踏み込むとペローズの大気弁が閉じ、次いでインテークマニフォールドに通じる真空弁が開いてペローズ内の空気を抜いてペダルをアシストする。応答性が悪く、かつペダルフィーリングが悪いこと、運転席側にあるペダルブラケット部のスペースを大きく占領することなどの理由で現在では全く顧みられない。

(1) 真空ブースターの発展と日本における展開

ブースターの実用化は米国において1930（昭和5）年代に車の大型化、高速化が進んだ時期に始まった。最初に採用した時期ははっきりしないが、GM キャデラックが1930-31年式V16エンジン装着のモデルにメカニカルブレーキを助勢する真空ブースターを用いたとの記録がある。

1930年代後半には、GM、フォード、クライスラーなど米国車は液圧ブレーキの装着率が増え、ペダルアシスト型や間接型真空ブースターが採用され始めた。既にこの頃は戦争一色となり、主に軍用車用として採用が増えていったものと思われる。図6.66に示すのは1944（昭和19）年登録（1940年出願）された米国ベンディックス社の間接型タンデム真空ブースターの米国特許である。この特許の図は、戦後米占領軍軍用車の修理用としてヂーゼル機器が製造した日本初のブースター「ハイドロバックXF31型」（図6.67、ハイドロバックはベンディックス登録商標）とほぼ同一のものである^(注24)。

当時は米軍占領軍用であること、かつ戦時中の特許は当時日本に出願されていなかったことなどから特許問題はなかった。しかし、前述のように昭和24年に施行された工業所有権戦後措置令（政令309号）により、戦争中および戦争直後の登録された連合国（主として英・米）人の特許が連合国内国出願時に遡って優先権を認められることになったので、ベンディックス社はその所有する特許（ドラムブレーキ、ブースターなど）を日本に出願してきた。^(注25)

ヂーゼル機器は真空ブースターの将来性を見て、ベンディックス社と技術援助契約を締結し国産化に乗り出した。ヂーゼル機器はブレーキ部品およびその後契約したパワーステアリングの製造会社を「自動車機器株式会社」として分離独立させ、昭和30（1955）年日本で当時唯一のブースターとパワーステアリング専門の製造会社としてスタートした。昭和31年には、ハイドロバック（図6.68、自動車機器は700型ハイドロマスターと呼んだ）の本格生産に入った^(注26)。間接型は大型車用として現在も使用されているが、乗用車や小型商用車にはほとんど使われていない。

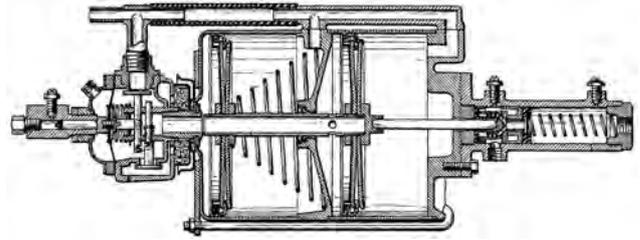


図 6.66 米国ベンディックス社間接型真空ブースター
(米国特許公報 2,353,755 より)



大気圧導入の構造や取り付け位置が異なるが特許図と構造的には同一である。

図 6.67 自動車機器が昭和22年に占領米軍より受注したハイドロバックXF31型真空ブースター^(注24)



図 6.68 自動車機器700型ハイドロマスター
(自動車機器40年史)

ダイレクトアクティング型ブースターは米国のベンディックス社、GM系のデルコモレーン社、ケルシーヘイズ社などが昭和30（1955）年代に入って実用化を推し進めた。この中でもベンディックス社でダイレクトアクティング型ブースターのエポックメイキングな新機構が開発された。

形式の如何を問わずブースターは運転者の踏力に比例した出力をホイールブレーキへ伝達する必要がある。このため踏力に応じ真空弁と大気弁の開閉を行わせるためのフィードバック機構（反力機構）が必要となる。ベンディックス社はこの反力機構をそれまでの梃子やダイヤフラムを使った複雑なものから、「リアクションディスク」と呼ぶ円盤状のゴムを使った極めて単純な機構としたのである。図6.69にその簡素版の特許図（これ

は実際に製造されたものに極めて近い構造である)、
 図 6.71 に実際に製造された構造と作動図を示す。

反力機構は密閉された空間に柔らかいゴムの円盤を「流体として扱える」ように閉じこめ、パスカルの原理で反力を制御する。ブースターの入力に対する出力の比をブースト比と呼ぶが、このブースト比はゴム円盤の出力側面積 B (マスターシリンダプッシュロッド側) を入力側 (ペダル側プッシュロッド) の面積 A で割った値となる (図 6.69 参照)。

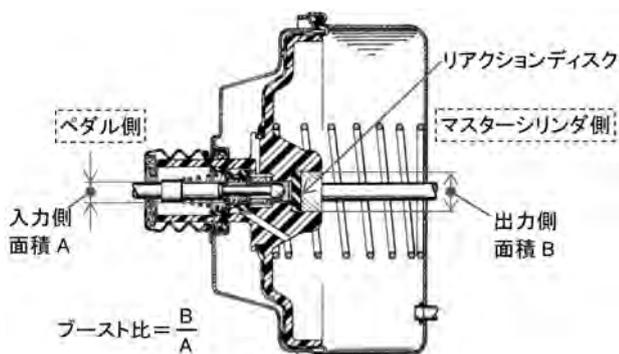


図 6.69 米国ベンディックス社ダイレクトアクティング真空ブースター特許図 (USP3,106,873 より)

ベンディックスはこのブースターにマスターバック
 という商標をつけ製造を始めた。自動車機器が技術導
 入し昭和 39(1964)年から生産を始めた (図 6.70)。



図 6.70 自動車機器のマスターバック
 (自動車機器 40 年史より)

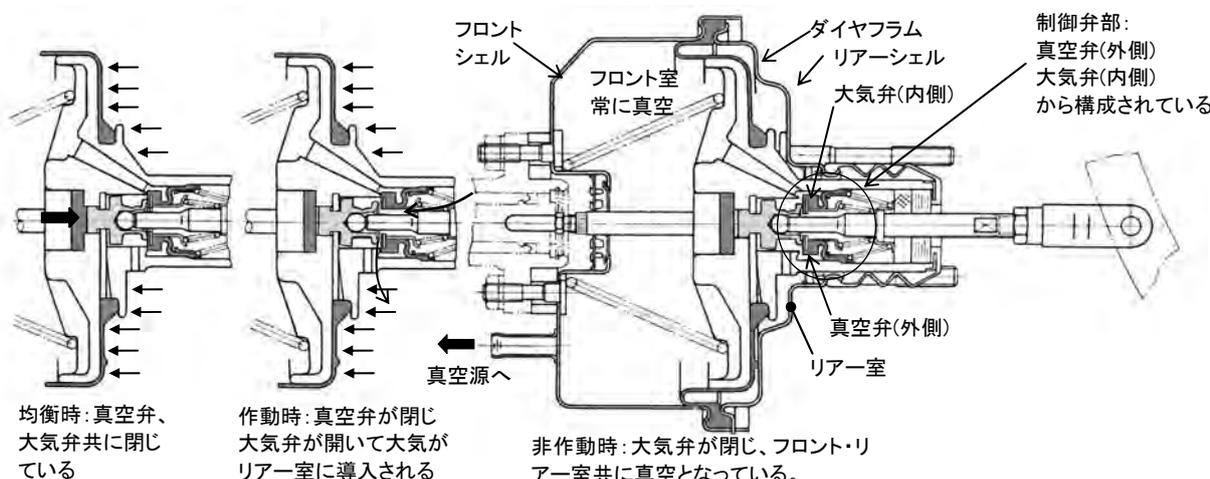


図 6.71 リアクションディスク型反力機構の作動説明図 (トキコレビュー Vol22 No.4 より作成)

この「マスターバック」は昭和 40 年代後半からのディスクブレーキの普及と共に大きく生産を伸ばした^(注27)。

日本の他の部品メーカーは独自開発もしくは米ケルシーヘイズ社 (アイシン精機) や英ガーリング社 (トキコ) などと技術提携しレバー型反力機構を用いた真空ブースターを製造した。しかしリアクションディスクのコストやフィードバック機能の優秀性 (ペダルフィーリング) には太刀打ちできず、特許期間の終了を待って雪崩を打ってリアクションディスク型モデルチェンジを行った。これに対しベンディックス社は特許切れの時期が第 2 次オイルショック後の時期とも重なったこともあり、自動車の省エネルギー、軽量化の動きに対応しプレス製のシェル (ブースター本体) 形状の最適化を図って従来の 60%ほどの板厚にした「アイソパック (Isovac)」と呼ぶタイプを市場に送り出した。これに対しガーリングは 1981 年にブースターを貫通するボルトを設け、マスターシリンダを車体 (トーボード) にその貫通ボルトで直接取り付けるというアイデアの特許 (USP4, 270, 353) を取得した。従来のブースターは真空容器としての他に、マスターシリンダを車体へ装着する強度部材でもあったのに対し、貫通ボルトが強度部材となるため、シェルをプラスチックや、従来の 1/3 厚程度の鋼板にすることができるといった画期的アイデアであった (図 6.73)。

日本ではガーリングと提携関係にあったトキコと日信工業がそれぞれ日産とホンダ向けに製造を開始した。

(2) 真空ブースターのさらなる発達

(2.1) ロストラベルフリー型弁構造

従来のブースターはまず真空弁を閉じ、その後大気弁を開いて大気を導入する構造をとっていたが、この

ためペダルのロストラベルが大きかった。図 6.72 に示すのは、アイシン精機の米国特許で（ほぼ同時にトキコや自動車機器も独自に考案し出願していたが、アイシン精機が僅かに早かった）不作動位置で真空弁、大気弁両方が閉じた状態を保つようにしたものである。ペダルを踏み込めばロスなくすぐに大気が導入される構造となっている。この方式は現在ほとんどのブースターに採用されており、画期的な発明と言える。貫通ボルトで軽量化を図り、ロストラベルフリー型としている最新のブースターの構造を図 6.73 に示す。

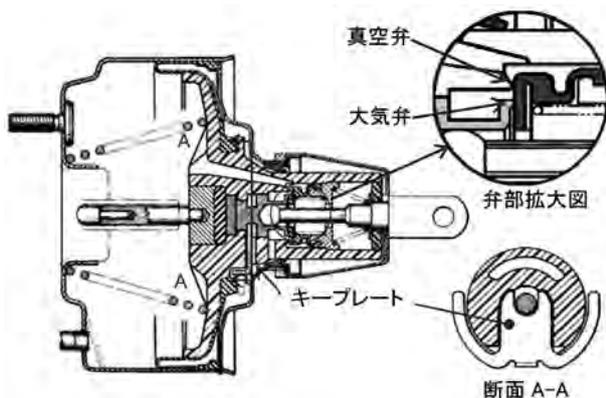


図 6.72 ロストラベルフリーブースターの特許
USP.4,562,696 より

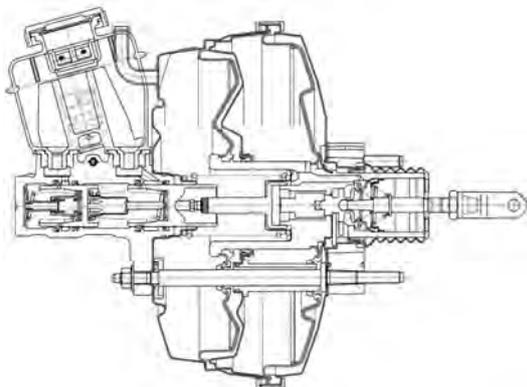


図 6.73 最新のブースターの構造例、貫通ロッド、ロストラベルフリー構造が採用されている（図は日立製作所提供）

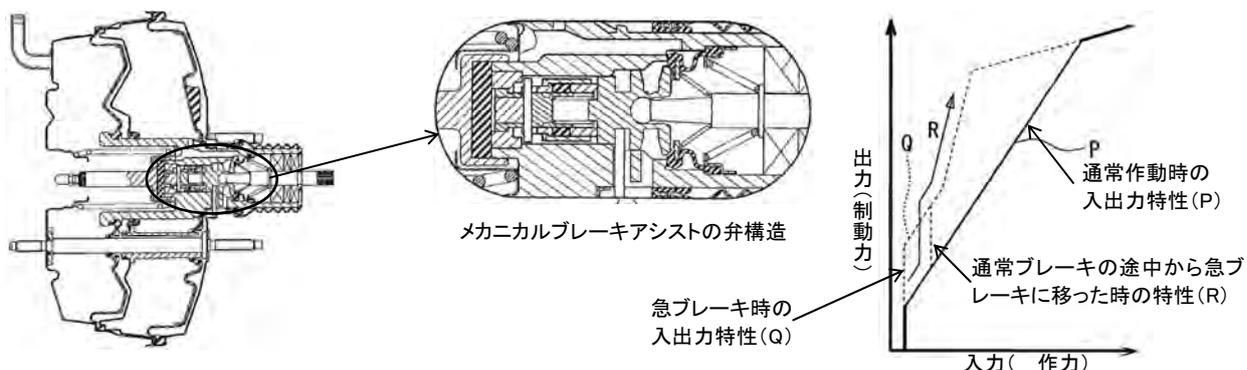


図 6.74 メカニカルブレーキアシストのブースターの構造（特許図より）

(2.2) ブレーキアシスト

アンチロックブレーキ (ABS) の装着率の向上と共に一つの問題が浮かび上がってきた。それは ABS を装備していても通常の路面で、緊急時に急ブレーキを踏んでも一般のドライバーは ABS が作動するようなブレーキ、すなわち車輪がロックするようなブレーキをかけられない。これでは高価な ABS を装備していても無駄である。この解決策として考えられたのが真空ブースターを急ブレーキ時にフルブレーキまで自動的にかけるようにしようというのがブレーキアシストである。この方法には一定入力条件でブースト比を大きく変化させるメカニカル方式と電的に入力側の作動速度を検出して大気弁をソレノイドで開放する電子制御方式などがある。現在は自動ブレーキ機能を持つ ESC アクチュエーターを利用してアシストする方法も用いられている。今後 ESC が普及すれば、ブースターにこの機能は不要になる。メカニカル作動のブレーキアシストの例を図 6.74 に示す。

真空ブースターは動力源がガソリンエンジンのインテークマニフォールドに発生する真空圧を利用するため特別な外部動力は不要である。このためガソリン車が中心の時代では多用されてきた。しかし今後、省資源、CO2 削減のためディーゼル車、ハイブリッド車、電気自動車などへの変化が進むと真空が簡単には得られなくなることから、トヨタのハイブリッド車で実用化された回生協調ブレーキ（トヨタ ECB2-プリウス）、電動ブレーキ (Brake By Wire) など別の動力源を用いるシステムに変化するのは避けられないであろう。

6.5 圧力制御弁

制動中に車輪のスリップ率がある限界（10～20%程度）を超えると、車輪は一挙にロックするにいたる。4輪制動の車では後輪が先にロックするとスピンに入る危険性がある。前輪が先にロックした場合は操舵性が失われる。このため現在、国連欧州経済委員会（ECE Economic Commission for Europe）のレギュレーションR13H（国際統一基準）と同一の基準が日本国内でも「道路運送車両の保安基準」として運用されており、その中で後輪が前輪より先にロックする「後輪早期ロック」を避けるための性能要件が規定されている。このECEレギュレーションは、1958年のジュネーブ協定に端を発し現在に至ったもので最新のR13Hでは「制動率（車の減速度を重力の加速度で割った値）が0.15から0.8の範囲で後輪が前輪より先にロックしてはならない」と定めている。この要求を満足させるため（後輪）圧力制御弁が必須の装置となったのである。

(1) 理想配分曲線と液圧制御弁^(注28)

自動車は前後車軸で全質量を支えている。通常フロントエンジン／リアードライブ車は、静的な状態で前輪には55%前後、後輪には45%前後の質量がかかっている。ブレーキをかけると重心点に加わる減速度により、前輪には更に質量が加わり、後輪は逆に軽くなる。これを荷重移動という。制動時の質量移動量 w_d は制動率を e とすると $w_d=e \times W \times H/L$ である。

従ってフロント側およびリアー側に加わる質量それぞれ W_f+w_d 、 W_r-w_d となる（図6.75）。

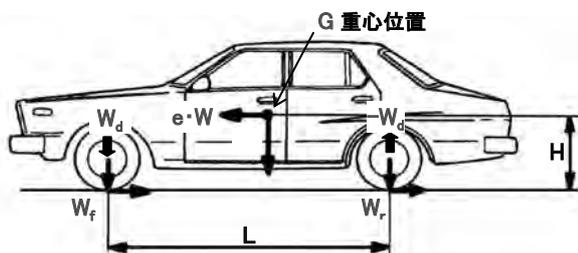


図 6.75 制動時の力学モデル^(注28)

この荷重移動を加味し、フロントリアーのブレーキが同時ロックする制動力の比を、制動率 e をパラメータにして求めると図6.76の2点鎖線のような曲線になる。これを理想配分曲線と呼ぶ。

この曲線より上側では後輪早期ロックが発生する可能性があり、下側では前輪早期ロックの可能性がある。実際の制動力配分は同図の実線で表した直線になる。

この直線を実制動力配分線と呼ぶ。これと理想配分曲線の交わるA点以降でリアーの制動力の上昇率をフロントに較べ低くすると（一点鎖線で示すような折れ線で）理想配分曲線に近似させた状態で後輪の早期ロックを防ぐことができる。後輪早期ロック防止の規定を満足させるだけであれば、図6.76の実配分線を単純に $e=0.8$ まで理想配分曲線の下側（前輪早期ロック域）に入れる様にフロントとリアーのブレーキ配分とすればよい。それでは実用域（ $e=0.15 \sim 0.4$ ）でのロスが大きくなるため、 $e=0.4 \sim 0.5$ 辺りで理想配分曲線と実配分線が交わるようにし、理想配分曲線を2本の直線で近似するリアー側液圧の上昇率を制御する装置を用いるようになった。1950年代にはリミッティングバルブが用いられていたが、1960年代には後輪圧力の上昇を緩やかにするプロポーショニングバルブに進化し、更に減速度感知型などの採用が広まった。

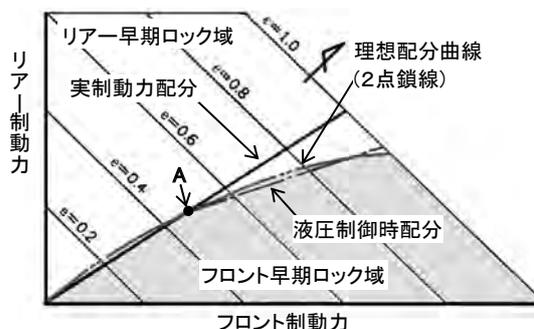


図 6.76 理想配分曲線^(注28)

(2) 液圧制御弁の種類

液圧制御弁にはその制御を始める圧力を感知する手段により次の三種に別れる。

- ① 応圧力バルブ：車重や制動状態に関係なく一定圧力で制御を始めるタイプ（プロポーショニングバルブとして主に乗用車に用いられる）
- ② 応減速度バルブ：一定減速度に達したとき制御を始めるタイプ（乗用車用として一時使用された）
- ③ 応荷重バルブ：積貨の状態によって制御を始めるタイプ（主として積空の差が大きいトラック系の車両に用いられる）

(2.1) 応圧力型プロポーショニングバルブ（Pバルブ）

図6.77に示すバルブは米国ケルシーヘイズ（KH）社が1967（昭和42）年に米国特許（USP3,315,469）を取得した構造で、日本では住友電工がKH社と技術提携し製造したPバルブである（トヨタ向けに関してはアイシン精機が住友電工のサブライセンサーとなり同一構造のバルブを製造した）。制御用のゴムシールの働きで図6.76の液圧制御特性（1点鎖線）を得る極

めて簡単な構造が特徴である。二系統ブレーキが普及し始めるとPバルブを 작동させる圧力をフロント液圧とし、フロント失陥時にPバルブを不作動化する構造が開発された(図6.78)。

図6.79はトキコが昭和60(1985)年代にフォード小型トラック用として開発したマスターシリンダねじ込み型Pバルブである。フロント失陥時フロント側ピストンがフルストロークするのでその動きを利用してPバルブのポペット弁を傾斜させ不作動化するバイパス機構が組み込まれている。

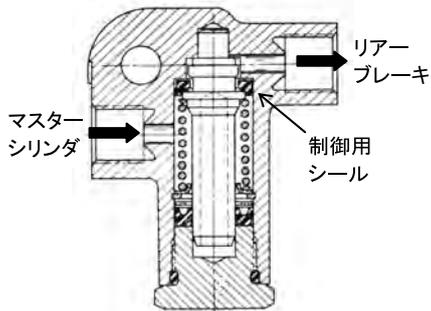


図 6.77 Pバルブ

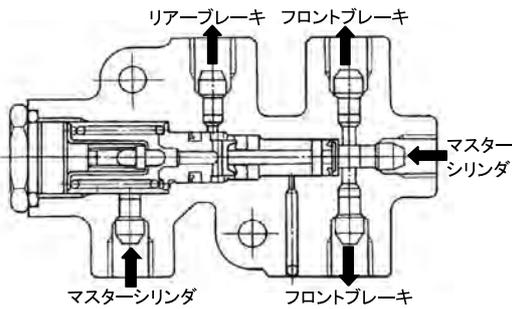


図 6.78 二系統ブレーキ用Pバルブ(ポペット弁型)

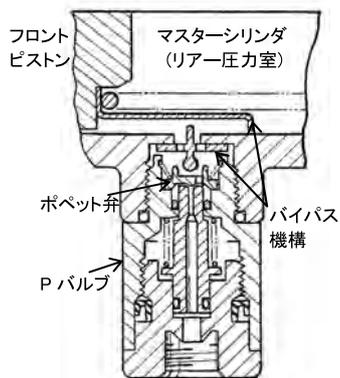


図 6.79 ねじ込み型Pバルブ

(2.2) 応減速度型バルブ(Gバルブ)

Gバルブはガーリング社が開発し、欧州で1964(昭和39)年にオースチン1800、1965(昭和40)年にはブジョー204に採用された。日本ではトキコがガーリングのライセンスで日産セドリック(130および230型)向けに昭和43(1968)年から製造した。慣性弁は直径

25mmのスチールボールを用い、通常慣性弁がバルブシートに着座しないようにバルブ本体を傾斜して車体に取り付けてある。所定減速度で慣性弁が閉じその後のリアブレーキ圧の上昇を制御する。減速度感知型なので、積載量の変動はある程度感知できる。しかし、応荷重性がある訳ではなく、構造が複雑化する割には応圧力型との性能差が少ないためその後用いられなくなった。

(2.3) 応荷重型バルブ(LSV:Load Sensing Valve)

トラックのような荷台の貨物積載量により後輪車軸荷重が大きく変化する車両では、空車時に後輪が早期ロックしないように制御弁を設定すると、積車時にはブレーキ力が不足する。これを改善するため積載量に応じた制御をするようにした液圧制御弁である。これには車軸と車体のサスペンションのたわみ量を検出するリンケージ型と、慣性弁を利用する慣性弁型の二種がある。「慣性弁型応荷重バルブ」は、「応減速度バルブ」が慣性弁の封じ込め圧力から制御を始めるのに対し、慣性弁の封じ込め圧力をトリガーにして荷重に対応したカット圧に拡大して制御を始める違いがある。リンケージ型LSV(図6.80)は積荷の状態に直接応答するため液圧特性に優れているが、リンケージの装着場所の制限があること、車体下部に装着されるため飛び石対策、リンケージの防塵、防錆処置が必要などの問題から、実際の採用は慣性弁型と二分することになった。リンケージ型は辰栄工業が昭和44年マツダのトラック向けに日本で最初に製造を始めた。

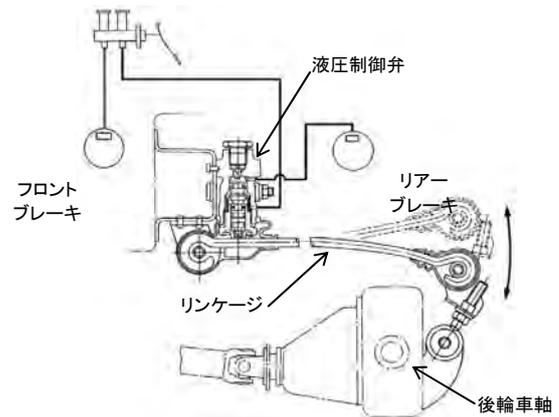


図 6.80 リンケージ型応荷重制御弁(機械図集)

慣性弁型LSVの例を図6.81に示す。この制御弁は(イ)液圧制御弁部、(ロ)メインスプリング部、(ハ)慣性弁部から構成されている。液圧制御弁部は基本的にはバイパス機能のついたPバルブと同一である。慣性弁はGバルブ同様スチールボールからなっており、傾斜して車体に装着されている。慣性弁部で封入

した液圧でメインスプリングが制御され、液圧制御弁の折れ点圧力は荷重に応じた圧力となる^(注28)。慣性弁型は装着場所の制限は少ないが、慣性弁のカット特性のばらつきが大きいことや下り坂で早閉じすることなどがネックであった。

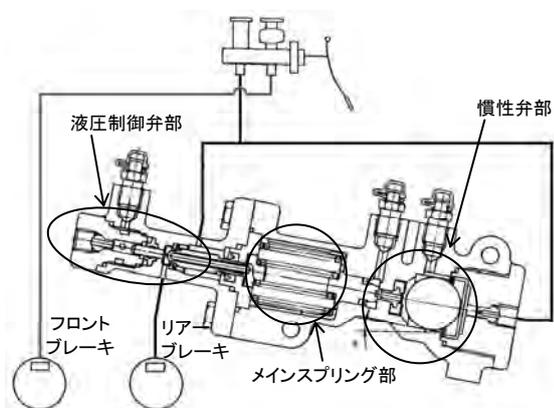


図 6.81 慣性弁型応荷重制御弁^(注28)

(3) 液圧制御弁の現状

2000 年前後以降、ほとんどの車両に ABS や電子姿勢制御システム ESC (Electronic Stability Control) が装着されるようになってきている。最近はこの電子制御システムから派生した「電子ブレーキ力配分システム (EBD, Electronic Brake Force Distribution)」と呼ばれる電子システムが普及してきている。EBD は基本的には ABS のアクチュエーター、センサーをそのまま使用し、ECU の制御ロジックを変更して対応したもので、積空時を問わず前後輪の車輪速の微妙な差を検出して自動的に理想配分曲線に近い前後輪ブレーキ力配分となるような圧力制御や、場合によっては左右輪のブレーキ圧力の制御も可能とするシステムとなっている。このように ABS の普及、発達により機械的制御の液圧制御弁は過去のものになりつつある。

6.6 ブレーキ液、カップおよびディスクブレーキ用シールについて

ブレーキの機械的な構成部品ではないが、ブレーキ液が存在しないと液圧ブレーキは成立しない。このブレーキ液はブレーキシリンダ (マスターシリンダ、ホイールシリンダ、ディスクブレーキシリンダなど) のシール部材 (カップ、シール) の材料開発と密接な関係を持っているので、この二つの要素の技術開発の経緯を見ることにしたい。ロッキードの発明 (1917 年) では、シール材料は当初はローハイド (生皮)、後に天然ゴム製のカップ (シール形状がカップ状であった

ことからブレーキシリンダのシールはカップと呼ぶ様になった) であった。この様な材質の場合ブレーキ液には鉱物油系のオイルは使用できず、1923 年に発表したマルコム・ロッキードの S A E Paper ではブレーキ液はグリセリン 60% とアルコール 40% の混合液 (Mixture) を用いたとある。ロッキードは、1925 年にひまし油をアルコールで溶解したブレーキ液の米国特許 (1,525,942) を取得している。

(1) ブレーキ液

日本での自動車用ブレーキの開発は、昭和 7 (1932) 年から瓦斯電が手がけた国産標準自動車用のブレーキ開発に始まったことは前述の通りである。ブレーキの開発は昭和 12 年に瓦斯電の計器部門が独立したトキコに引き継がれた。昭和 7 年瓦斯電に入社し、その後東京機器工業 (トキコ) 設立と共に移籍した技師渡部七郎の「自動車用オイルブレーキ」^(注29)には開発当初国内では良いブレーキ液が得られなかったが、昭和 13 (1938) 年頃にはダイアセトン系の良質なブレーキ液が国内で得られるようになったとの記載が見られる。

日本オートケミカル工業会編「オートケミカル」には「日本では航空機用のブレーキ液 (作動油) として研究が行われ、1935 年頃陸海軍航空機用ブレーキ液として完成された、自動車用に使用されたのはそれより 2 ~ 3 年遅れてのことである」^(注30)とあるのにほぼ符合する。ダイアセトン系とはひまし油をダイアセトンアルコールで溶解したものである。以下「オートケミカル」を要約して引用すると、戦後もしばらくはひまし油 (終戦直後はひまし油の入手が困難になり代用油が用いられた) と低級アルコールを主成分としたブレーキ液が使用された。このブレーキ液は沸点が 100°C 前後であったが、自動車保有台数も少なく高速道路のない時代ではブレーキ液に起因する事故は少なかった。昭和 30 年代には石油化学の急激な伸長により、新しい原材料を用いたブレーキ液の研究が盛んとなり、ひまし油に代わりポリグリコール、低級アルコールに代わってグリコールおよびグリコールエーテル類が使用され始めた。この時代にブレーキ液の沸点は 150 ~ 200°C に向上した。自動車の保有台数が急激に増え始めた昭和 40 年代の高度成長期、高速道路の整備、拡充が進み、自動車の高速化につれディスクブレーキの普及なども相まって、使用中のブレーキシリンダやブレーキチューブ内のブレーキ液温が上昇し、ペーパーロック事故が多発するようになった。このためポリグリコールベースと高沸点のグリコールエーテルを成分とするブレーキ液が使用されはじめ、昭和 40 年

代後半には沸点も 250°C前後まで向上した。

昭和 50 年代には更に原材料や配合技術改良が進み、沸点も 250 ~ 290°Cのブレーキ液も市販されるようになった。ブレーキ液は吸湿性があるため、吸湿していない開封直後の沸点（ドライ沸点）が高くても、吸湿後の沸点（ウェット沸点）が低くなるので吸湿による沸点降下を押さえる硼酸エステルを配合したブレーキ液も使用されるようになった。

表 6.3 ブレーキ液の使用原材料の種類と使用年度

使用原料	1935	1945	1955	1965	1975	1985	1995	2005
グリセリン	■							
ひまし油	■	■	■	■				
低級アルコール		■	■	■				
ひまし油、グリコール、アルコール			■	■	■			
ポリグリコール、グリコールエーテル				■	■	■	■	■
ポリグリコール、グリコールエーテル、硼酸エステル					■	■	■	■
シリコンオイル系						■	■	■

(オートケミカル工業会編「オートケミカル」より作成)

ブレーキ液に要求される特性は

- ①沸点—高沸点（ドライ、ウェット）
- ②粘度、潤滑性（低温から高温までの粘度変化が少ないこと、潤滑性を保つこと）
- ③金属腐食性（使用金属の腐食を起こさないこと）
- ④ゴム膨潤性（適正なゴム膨潤性を有すること）
- ⑤低、高温での安定性（低、高温時の劣化、沈殿物、分解）
- ⑥耐水性がよいこと（ブレーキ液への溶解性能）などがある。

この中で特に金属腐食性については、昭和 40 年代から 50 年代にかけて大きな問題となった外部からの塩素や水分の侵入によるアルミ合金の腐食、ブレーキ液中の異種金属接触による電位差腐食などがあつた。

アルミ合金製のシリンダを多用した日本でブレーキ液の添加剤などの大幅な改良が行われ日本車のブレーキ品質を世界的レベルに引き上げることに寄与した。

上記の 6 項目は JIS（最初の制定は昭和 39 年）、米国の連邦安全基準（FMVSS）、ISO などで細かく要求性能が規格化されている。

現在一番新しい JIS 規格は K2233-2006 で、基本的には ISO4925-2005 をベースに FMVSS No. 116 などの関連規格を参考に国際的に整合性を高めた規格となって運用されている。

(2) ゴムカップとディスクシール用ゴム材料

前出の渡部七郎の著書 109 ページにゴムカップの写真が掲載されている。このカップには「瓦斯電気」と

いう浮き出し文字と菱形の中に「M」の字の浮き出しマークが見える（図 6.82）。

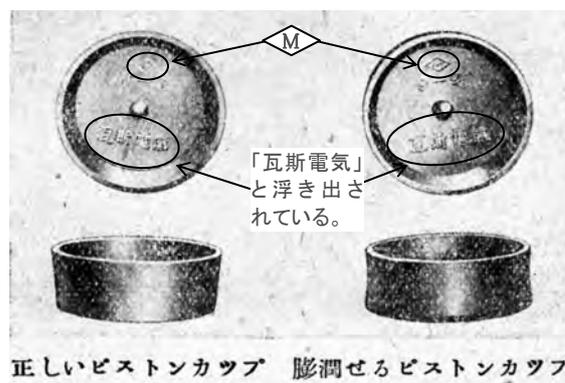


図 6.82 渡部七郎の著書にあるカップの写真

このマークは製造会社のトレードマークを示すものと思われる^(注31)。このマークを当時使用していたのは、「明治ゴム」という軍用のゴム製品を製造していた会社である。現在日産系のゴム部品メーカーでブレーキ用カップを製造している鬼怒川ゴム工業は、その 50 年史に、昭和 14 年会社創立当時、明治ゴムから軍需品の下請け加工を行った旨の記述がある。明治ゴム（創業当時は明治護謄製造所）は明治 33(1900)年操業で、現在も製鉄用や製紙用のゴムローラーなど工業用ゴムおよび樹脂製品を、また分社化した子会社でブレーキホース、燃料ホースなどの自動車用ホース類を製造する(株)明治ゴム化成であり、現在のトレードマークもカップにあるそのままである。

ホームページでその沿革を見ると昭和 9(1934)年「自動車用オイルブレーキホースならびにパッキングの耐油材質および特殊構造の製作に成功」との記載がある。「パッキング」はカップのことと思われ、瓦斯電が昭和 10(1935)年頃には海外品に遜色のない国産のブレーキホースやカップを開発したとしているのに符合する。昭和 10 年にはカップやブレーキホースを明治ゴムに製造させたのは間違いなく、図 6.82 に示すカップが国産初の量産ブレーキシリンダ用カップであるとして良いと思われる。戦後この会社はゴムカップの製造からは手を引いたようである。

当時明治ゴムの下請けをしていた鬼怒川ゴムは、明治ゴムからゴム製造技術者古川藤之助を引き抜き（元鬼怒川ゴム内田静吾氏談）、日本で販売されていたフォード、GM などのアメリカ車のサービス部品として 1 インチのゴムカップを昭和 14(1939)年から製造開始した。

戦後、自動車メーカーにも供給を始め、昭和 24 年 4 月に鬼怒川ゴムの「カップ」は商工大臣から優良部

品の認定を受けている^(注32)。当時のカップは天然ゴム製であり使用限界温度は70℃であった。

トヨタ自動車は昭和10年11月にトラックの「トヨタ号」を発表した。そのブレーキシリンダはトキコが製造したものである（前出渡部七郎著書）。トヨタは戦中からタイヤを含む自動車用ゴム材を自社内で研究を始め、ゴムカップの研究開発も行っていった。トヨタはこれらの部門を昭和19年には系列の国華工業に移譲している。国華工業は戦後名古屋ゴム（後の豊田合成）として再発足しゴムカップの製造を始め、愛知工業と新川工業の発足と共にトヨタグループ内でブレーキ部品の製造を始めた。名古屋ゴムも昭和24年に4月に他のブレーキ部品と共に「ブレーキシリンダカップ」が商工大臣から優良部品の認定を受けている^(注33)。

昭和30年代になると車の性能向上に伴い同じ天然ゴムであるが加硫条件を改善し耐熱性を80℃までに向上させた製品が現れた。しかし天然ゴムの改良では耐熱性の向上には限界があり、昭和35(1960)年頃からステレンブタジエンラバー（SBR、Styrene Butadiene Rubber）を用いた合成ゴムカップ材の開発が始まった。鬼怒川ゴム工業は原材料に米国フィリップス社のウェットカーボンマスターバッチを用いて昭和39年に耐摩耗性、耐熱性に優れたカップ材を開発した。フィリップスのポリマーは元々タイヤ用に開発されたSBRで特に耐摩耗性に優れたものであった^(注34)。

昭和38年、豊田合成（当時名古屋ゴム）も米国アメリカのSBRポリマーを使った耐熱性に優れたSBRカップの開発に成功している。豊田合成も鬼怒川ゴムも、それぞれ昭和49年と昭和60年に日本合成ゴム社（現JSR）の国産材に変更している。

昭和50年代に入ると、ターボチャージャー装着などでエンジンルームの温度が大幅に上昇することが予測された。このためエンジンルーム内に装着されるTMC用カップの耐熱性の向上が課題となってきた。さらに自動車の高性能化にともないディスクブレーキシールやホイールシリンダカップも耐熱性向上の必要性が生じ、そのころ欧米で実用化され始めたEPDM（Ethylene - Propylene - Diene - Monomer）材の基礎研究が始まった。本格的なEPDM材料検討は昭和50年代後半で、昭和57年末にはトキコが受注したフォード向けマスターシリンダに使用されるEPDMカップの生産が始まった。現在はこのEPDM材の改良版が使用されている。

昭和40年代中頃からはカップ材質の検討だけでな

く、シールリップの形状についても改善が行われ、シールの面圧測定などの結果からそれまでシールリップ形状が刃物でカットした鋭角のカットリップであったのを、シール部を型で成型したモールドリップとして摺動抵抗を軽減した上、シール性を向上させたモールドリップカップが登場した（図6.83）。

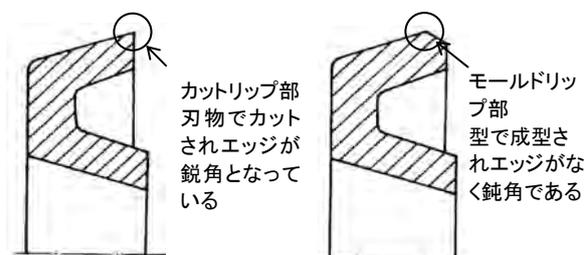


図 6.83 カットリップカップとモールドリップカップ

昭和48年頃からは豊田合成、トヨタ自動車、トヨタ中研、アイシン精機の合同研究でマスターシリンダ用カップのシールリップ形状のコンピューター解析によるシール面圧分布の計算などを行い（図6.84）、シール性の向上が図られた。またホイールシリンダ用のカップでは曙ブレーキと豊田合成の共同研究でシール形状の研究が行われた。これらの成果は特公昭58-54307、同59-25905、実公昭58-35892、同57-44141などの特許として登録されている。

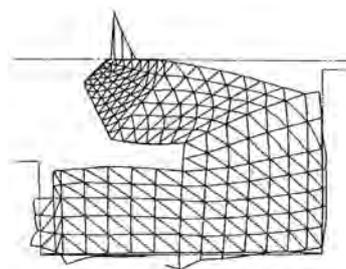


図 6.84 FEM によるカップのシール面圧解析
(アイシン精機などが出願人となっている特公昭58-54302より)

(3) カップおよびシールの JIS 制定について

カップの要求性能については JIS で最初は昭和33(1958)年に輸出用として JIS D7312 および 7313 でそれぞれマスターシリンダおよびホイールシリンダとして使用温度70℃の性能要件が定められた。国内向けを含む本格的な JIS 規格は昭和36(1961)年に JIS D2603「自動車用油圧ブレーキマスターシリンダ」という形で制定された。この規格にはカップの性能要件を規格化するのは時期尚早として米国自動車技術会 (SAE) 規格 60R1「Rubber Cylinder Cup for

Moderate-Duty Vehicles」を解説の中に翻訳して掲載し、参考にすることを要求している。カップの規格は昭和 39 (1964) 年に JISD2605「自動車用液圧ブレーキシリンダのゴムカップ」として SAE 規格をベースに作成されたもので初めて通常の使用条件 (1 種) の 70°C 試験と Heavy-Duty な使用条件 (2 種) の 120°C 試験を要求した。平成 10 (1988) 年には更に 3 種としてさらに高温の 150°C の要件も追加している。

ディスクブレーキシールについては昭和 57 (1982) 年に JISD2609「自動車 - 非鉱油系液圧ディスクブレーキのゴムシール」として ISO4930「Road vehicle - Elastomeric seals for hydraulic disc brake cylinders using a non-petroleum base brake fluid service temperature 150 degrees C」に準じて制定された。更に平成 5 (1993) 年に EPDM シールの使用実績が増加したため、それに対応する 2 種の内容の充実と 1 種の明確化を重点に見直しがなされている (JISD2609-1993 解説から)。

ブレーキシリンダの品質向上にはブレーキ液とその材質を含むゴムカップやシール部材が重要な役割を果たしてきた。過去に発生したブレーキシリンダの事故の内そのかなりの部分にブレーキ液とシール材料に起因していた。アルミ合金製シリンダではブレーキ液の銅イオン溶解による電食、ブレーキ液添加剤 (ブレーキ液の特性調整用の微量の添加物) による堆積物の発生、ゴムポリマー中の残留塩素 (ラテックス凝固剤に食塩を用いる SBR ポリマー、天然ゴム) による腐食、プラスチックリザーバのブレーキ液による老化で亀裂が発生するなど枚挙にいとまがない。これからも新しい素材の採用は進むであろうが過去の事故歴を調べて事故を予見する手段を講じることは必須であると考える。

6.7 摩擦材

摩擦材はドラムブレーキやディスクブレーキといったホイールブレーキにとっては極めて重要な構成部品である。しかし摩擦材は技術的にはブレーキの機構自体とは技術分野を異にするので、今後別個に摩擦材産業技術史として取り上げるべきと思われる、本系統化では概説にとどめたい。ドラムブレーキの摩擦材は T 字断面の弓状をしたスチール製の部材に円弧状の摩擦材 (ライニング、表張) が貼り付け、もしくはリベット止めされており、シューアッセンブリーと呼ばれる (図 6.85)。

ディスクブレーキでは、バックプレート (5mm 厚ほどのスチールプレート) にほぼ扇型をした摩擦材が

モールド接着されており、パッドと称している (図 6.86)。ドラムブレーキ初期においてはライニングのみを摩擦材メーカーが製造し、シューアッセンブリーは自動車メーカーもしくはその下請けのブレーキメーカーで製造していたが、現在ではライニングメーカーがシューアッセンブリーもしくはドラムブレーキそのものを製造するのが普通である。

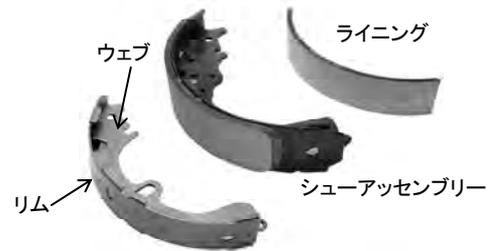


図 6.85 ドラムブレーキの摩擦材
(曙提供のサンプルを撮影)

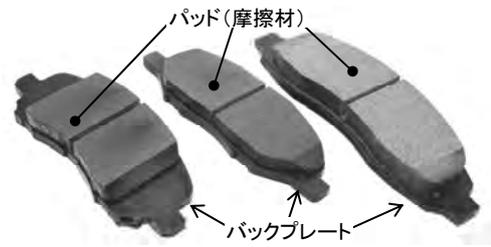


図 6.86 ディスクブレーキのパッド
(曙提供のサンプルを撮影)

(1) 日本における摩擦材の開発

摩擦材の国産化の検討が始まったのは軍用保護自動車など自動車を本格的に製造することを模索を始めた大正末年頃からであった。摩擦材の製造とホイールブレーキ製造の大手である曙ブレーキの 50 年史「半世紀の歩み」^(注35) に、大正 14 (1925) 年、日本フォードや日本 GM などのノックダウンが軌道に乗り、一部の部品供給から、本格的な部品工業が小規模ながら勃興し始めた時期に、付き合いのあったアスベスト輸入業者から、「需要が多くなっているアスベストを使用した自動車用ブレーキライニングの製造を試みることを、勧められ検討を始めた」とある。曙石綿工業 (曙ブレーキ創立時の名称) の創始者納三治は手織事業を手がけていたので、その技術を利用して、当時評判の良かったイギリスのフェロード社 (現在米国 Federal Mogul 社) の輸入ウーブンライニング (woven lining) を目標にライニングの研究を始め、昭和 4 (1929) 年に製造開始したのが日本でのブレーキライニングの始まりであったとのことである。

曙石綿工業は陸軍のバックアップもあって自動車用

のみならず飛行機のブレーキライニングも手がけた。飛行機用を手がけたことが曙石綿工業の品質を飛躍的に向上させたことは間違いない。曙石綿工業の創始とほぼ時期に競合するメーカーも現れており、昭和13年6月には商工大臣から優良自動車部品としてブレーキライニングおよび同様の摩擦材を使用するクラッチフェーシングの製造者として曙石綿工業の他に久代石綿工業所（現クシロブレーキ株式会社：大型商用車専門のブレーキライニングメーカー）、ダイヤモンドライニング製作所（曙石綿工業が昭和18年に買収し、昭和19年に正式に合併—曙ブレーキ50年史）の3社が認定され、昭和14年12月には日の出石綿工業と三泰石綿工業の2社（追加された2社の内、三泰石綿工業が戦後も日本石綿協会機関誌「石綿」に広告が出ていたとの記録があるが詳細は不明）が加わっている。また日清紡100年史によれば昭和19年に飛行機用ブレーキライニングの製造を始めたとあり、戦後の同社のブレーキライニング製造の基礎はやはり飛行機用のものであった。

戦後生産を再開した曙石綿工業は昭和23年2月に商工大臣からウーブン、レジンモールドブレーキ表張（ライニング）、ゴムモールドブレーキ表張などが優良自動車部品に認定されている。

朝鮮特需を経て昭和30年代自動車の国産化と生産量の増加に伴い、摩擦材の品質向上が必須となってきた。日本は、戦争中自動車先進国である欧米の技術発達の圏外にあり技術的には相当な格差ができていた。摩擦材の配合技術や製造技術の特許問題もからみ欧米からの技術導入を急いだのは必然の結果であった。

曙ブレーキは昭和36(1961)年に米国ベンディックス社とブレーキライニングに関する技術提携を締結、日清紡は昭和39(1964)年に英国スモールアンドパークス社（商標DON）から技術導入し、品質、性能の向上を目指した^(注36)。前述したように住友電工はダンロップ社からディスクブレーキ技術を導入し1964年に製造開始した。その使用パッドは当初は英国からの輸入品でスタートした。需要増にともない昭和40(1965)年英国ミンテックス（Mintex）社から技術導入し国産化を図るなど技術導入による摩擦材の技術レベルの向上が図られた^(注37)。

ディスクブレーキの装着が増えた昭和40年代から50年代にかけて「効力アップ」、「ローター攻撃性」と「ジャダー」、「ノイズ」の対策が大きな問題となった。ディスクブレーキパッドは熱負荷が大きく、ライニングの摩擦面積あたりの吸収エネルギーはドラムブレーキに対し5～6倍と過大であることが第一の要因

である。「ノイズ」や「ジャダー」にはディスクブレーキ側の対策も必要であるがバイオリンで例えれば弦を振動させる弓に相当する摩擦材側の材料開発も重要でパッドメーカーのみならずブレーキメーカーを巻き込んでパッド材組成やパッドの形状について研究が行われた。

摩擦材は永年石綿（アスベスト）を基材とし、添加剤、充填剤を加え、フェノール樹脂で成形した複合材であった。ところが昭和40年代後半に入った頃アスベストの発ガン性の問題が米国で浮上、昭和50(1975)年頃米国でスチール繊維とグラファイトを主成分としたセミメタリックパッドがアスベスト問題の一つの解決策として登場した。日本のメーカーもセミメタリックパッドの開発を行い昭和54年FF車用として使用されたが、摩耗粉によるホイールの赤錆、低温時の効力不足、ジャダー、低周波異音（グー音）などのクレームが多発し、市場で受け入れられず、一時アスベスト材に戻ったりするなど混乱した。その後平成に入ったころ米国でアラミド繊維とスチール繊維を基材とするロースチール材が登場するが低周波異音やジャダーの問題から解放されなかった。ロースチール材を見限った日本ではアラミド繊維、銅繊維、チタン酸カリウムを基材としたノンスチール材を開発、一つの方向性を示した。低周波異音については未だに課題として残っている。低周波異音はアスベストの時代には見られなかった現象であった。

(2) 摩擦材に要求される性能と最近の摩擦材の種類

ブレーキの摩擦材に要求される性能は

- ①適度な摩擦係数
- ②安定性（耐熱性、耐水性、速度による摩擦係数の変化が少ない）
- ③耐摩耗性
- ④ローターやドラムへの攻撃性が少ないこと
などの摩擦材の基本的な性能要件の他に、
- ①ブレーキ鳴きやジャダー等の異音を出さない
- ②環境を破壊しない（有害物質を出さない、有害物質を使用しない）

というブレーキ性能に直接関係しない要素も重要な性能として考慮しなければならない。

摩擦材は大きく分けると①基材、②結合材、③その他添加剤からなっており、①の基剤は自動車の始まりから十数年前までアスベストが主に使われていた。

初期のライニングはアスベストを紡糸、織布し結合材を含浸させたウーブンライニングであったが、アスベスト繊維に種々の添加剤を加え混ぜ合わせたものに

結合材として熱硬化性の樹脂（レジン）を用いて型成形したレジンモールドライニングへ進化している。開発略史で述べたように、ディスクブレーキの時代になって、基材をアスベストからスチール繊維などの非石棉材としたセミメタリック材、スチール繊維の使用量を減らしたロースチール材、スチール繊維を用いないノンステール（ノンアスベスト・オーガニック、NAO）材へと進化した。

自動車用非石棉ディスクブレーキパッドを材質で分類すると表 6.4 のようになる^(注37)。

表 6.4 ノンアスベストパッドの特徴

		分類		
		セミメタリック	ロースチール	オーガニック
基材	スチール繊維	30~60	5~30	-
	非鉄金属繊維 有機繊維 無機繊維	-	10~25	20~40
	長所	高負荷時摩擦材 摩耗およびロー タ摩耗が少ない	高温、高速ブ レーキ時の性能 が良い、摩耗が 少ない	ロータ摩耗が少 ない、ブレーキ鳴 きが出にくい、摩 耗が少ない、汎 用性がある
特徴	短所	効きの安定性が 劣る、熱害、ホ イール汚れ、錆、 ジャダー、低周波 異音	ロータ寿命が短 い、ホイール汚 れ、摩耗が多い、 スキール、低周 波異音、錆	高温、高速時の 効きが劣る、摩 耗が多い
	市場	北米、欧州	欧州	日本、北米

日立化成テクニカルレポート No.41(2003/3) および囉提供資料から

(3) アスベスト問題について

労働省（現厚労省）から昭和 43 年 9 月に労働基準局長名で都道府県労働基準局長あてに、塵肺対策として粉塵抑制のためアスベストを使う事業場への局所排気装置の設置を求める通達（昭和 43 年基発 609 号）が出されている。さらに昭和 46 年には「多量の石綿を吸入すると肺ガンを発生する」、また特殊な石綿と断っているが、「中皮腫が発生するとの説」もあるということで、事業場の環境改善についての通達（基発昭和 46 年第 1 号）が出されている。

アスベストには、クリソタイル（白石綿）、アモサイト（茶石綿）、クロシドライト（青石綿）などの 6 種類がある。アモサイトとクロシドライトは有害性が高いことから平成 7 年から使用禁止となり、平成 16（2004）年からクリソタイルを含む全石綿の輸入、製造、使用が原則禁止となっている。ブレーキで使用されていたアスベストは比較的有害性の少ないクリソタイル（白石綿）であった。自動車における石綿の使用に関しては自動車工業会から運輸省（現国交省）宛に平成 8（1996）年にノンアスベスト化を達成したことを報告している（ただし平成 8 年以降も平成 17（2005）年 10 月頃まで自動車会社 9 社で 164 万台に石綿を含む部品の使用が続いていたとの新聞報道がある）。

(引用文献)

- (注 1) マルコム・ロッキード SAE Paper No.230041 “Hydraulic Four-Wheel Brake” P331-P333
- (注 2) ブレーキシリンダ技術委員会編「自動車用液圧ブレーキシステム（改訂）」平成 3 年自動車部品工業会 P40
- (注 3) 日本機械学会 ブレーキ図集分科会編 機械図集 ブレーキ 昭和 51 年 P18
- (注 4) Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963 年 Motor Vehicle Research of New Hampshire, P63
- (注 5) 中西順三 未公表稿「自動車用ブレーキ 3」昭和 53 年 P55
- (注 6) トヨペットクラウン RS 及びトヨペットマスター解説書 昭和 33（1958）年
- (注 7) トヨタクラウンエイト修理書 P13-3 トヨタ自販 昭和 39（1964）年
- (注 8) 長田 滋 「日本車躍進の軌跡」三樹書房平成 18 年 P50-52
- (注 9) 長田 滋 「日本車躍進の軌跡」三樹書房 平成 18 年 P45
- (注 10) 青野正美 自動車用ドラムブレーキ（トキコレビュー Vol.22 No.1）1978 年 P11
- (注 11) 萩川哲男 未公表稿（昭和 56 年）を筆者が加筆修正した。
- (注 12) Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963 年 Motor Vehicle Research of New Hampshire, P64
- (注 13) ロードテスト ペレット 1600GT 「Car グラフィック」誌 1964 年 12 月号 P64
- (注 14) Girling 社 Service manual Part 2, 1958 年 P66
- (注 15) 入江 督 「ディスクブレーキについて」技報「住友電気」第 84 号 昭和 39 年 P80
- (注 16) 入江 督 「産業機械へのディスクブレーキの応用」技報「住友電気」第 88 号 昭和 40 年 4 月 P106
- (注 17) 景山克三監修 「自動車工学全書 1 2 タイヤ、ブレーキ」昭和 55 年 P191
- (注 18) Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963 年 Motor Vehicle Research of New Hampshire, P236
- (注 19) FERODO Brake Service Guide 1958 年 P46
- (注 20) 新倉哲也 アネット型ディスクブレーキの試験結果 トキコレビュー Vol. 11 No.3 1967 年 P10
- (注 21) 小林金蔵 「ディスクブレーキについて」トキコレビュー Vol. 22 No.2 1978 年 P30
- (注 22) 清水和明他 「ディスクブレーキの鳴き解析技術の変遷と将来動向」トキコレビュー Vol.40 No.2 1997 年 P46

- (注 23) 青野正美 自動車用ドラムブレーキ(トキコレビュー Vol. 22 No. 1) 1978 年 P11
- (注 24) 自動車機器社史 40 周年記念 P32
- (注 25) 自動車機器社史 40 周年記念 P33
- (注 26) 自動車機器社史 40 周年記念 P34
- (注 27) 自動車機器社史 40 周年記念 P52
- (注 28) 奥水長典 「自動車用ブレーキ液圧制御弁について」 トキコレビュー Vol. 23 No. 2 1979 年 P35-42
- (注 29) 渡部七郎 自動車用オイルブレーキ 昭和 19 年 山海堂理工学論叢 P14
- (注 30) 日本オートケミカル工業会「オートケミカル」平成 3 年 P75-77
- (注 31) 商標登録第 18860 号 昭和 17 年 6 月 10 日更新登録(最初の登録は明治 36 年 2 月 26 日)
- (注 32) 鬼怒川ゴム 50 年史 P12
- (注 33) 豊田合成 40 年史「創造への挑戦」 P60
- (注 34) 鬼怒川ゴム 50 年史 P157
- (注 35) 曙ブレーキ社史 「半世紀の歩み」 P39-42
- (注 36) 日清紡 100 年史 P69-74
- (注 37) 住友電工の歴史(社史) P188-192
- (注 38) 原泰啓他 「ブレーキ用高摩擦係数ディスクパッド」日立化成テクニカルレポート No. 41 2003 年 P43-48

(参考文献)

- ・渡部七郎 自動車用オイルブレーキ 昭和 19 年 山海堂理工学論叢
- ・J. シャジェット著 実用自動車工学 シャシー編 昭和 43 年 山海堂
- ・矢田平祐著 実務者のためのブレーキ 昭和 45 年 鉄道日本社
- ・Andrew J. White 「Brake Dynamics」1963 年 Motor Vehicle Research of New Hampshire
- ・景山克三監修 自動車工学全書 12 タイヤ、ブレーキ 昭和 55 年 山海堂
- ・ジョン・レイノルズ著 相原俊樹訳 シトロエン 2006 年 二玄社
- ・日本オートケミカル工業会 「オートケミカル」平成 3 年
- ・長田 滋 日本車躍進の軌跡 2006 年 三樹書房
- ・工学博士小口泰平監修 ポッシュ自動車ハンドブック 第 2 版 山海堂
- ・住友電工技報 住友電気各号

- ・トキコ技報 トキコレビュー各号
- ・豊田合成 技報
- ・Ferodo Brake Service Guide
- ・Girling Service manual
- ・モーターファン誌 1964 年 6 月号、1969 年 2 月号
- ・モーターファン別冊 図解特集 Steering & Brake 平成 19 年
- ・Car グラフィック誌 1964 年 6 月号、1963 年 12 月号
- ・自動車用ブレーキシステム(改訂) 平成 3 年 日本自動車部品工業会
- ・クラウン新型車解説書 トヨタ自販 昭和 33 年版～平成 9 年版
- ・コロナ新型車解説書 トヨタ自販 昭和 32 年版～平成 8 年版
- ・ニッサングロリア A30 シリーズの紹介 日産自動車 昭和 42 年
- ・日産スカイライン C110 整備要領書 昭和 47 年
- ・日産サニー B210 整備要領書 昭和 48 年
- ・日産セドリック 330 整備要領書 昭和 50 年
- ・ダットサンブルーバードの整備
- ・JASIC カントリーレポート「日本の自動車安全・環境に関する制度」2007 年度版
- ・国土交通省 保安条例第 12 条(制動装置)
- ・JIS D7312-1958「自動車用油圧ブレーキ親シリンダ(輸出用)」
- ・JIS D2603-1961、JIS D2603-1966、JIS D2603-1974、JIS D2603-1982、JIS D2603-1988「自動車用液圧ブレーキマスターシリンダ」
- ・JIS D2605-1964、JIS D2605-1976、JIS D2605-1982、JIS D2605-1988「自動車用非鉱油系液圧ブレーキシリンダのゴムカップ」
- ・JIS D2609-1993「自動車用非鉱油系液圧ディスクブレーキのゴムシール」
- ・アイシン精機社史、曙ブレーキ工業社史、鬼怒川ゴム社史、住友電工社史、自動車機器社史、日清紡社史、トキコ社史、豊田合成社史、ナブコ社史
- ・自動車技術ハンドブック(第 5 分冊)設計(シャシー)編 自動車技術会 2005 年
- ・自動車整備工学全書 7 巻「シャシー及び車体の構造」(第 5 刷) 山海堂 2001 年
- ・日本の自動車技術 20 年史 第 16 章制動装置(青木和彦) 自動車技術会 昭和 44 年

7 | ブレーキに関する法規制

7.1 標準と基準^(注1)

自動車基準認証国際化研究センター発行の日本の自動車安全・環境に関する制度 - カントリーレポートによれば、「標準」と「基準」の違いは、「標準」は技術仕様であって遵守することが義務づけられていないものであり、「基準」は法律に基づき遵守することが義務づけられたものである。

標準とは鉱工業製品に関して生産、流通、使用（消費）の各方面を通じて適用される技術的使用の標準であり、原材料、機械、器具などの種類、寸法、性能および試験方法などが定められたものとなっている。

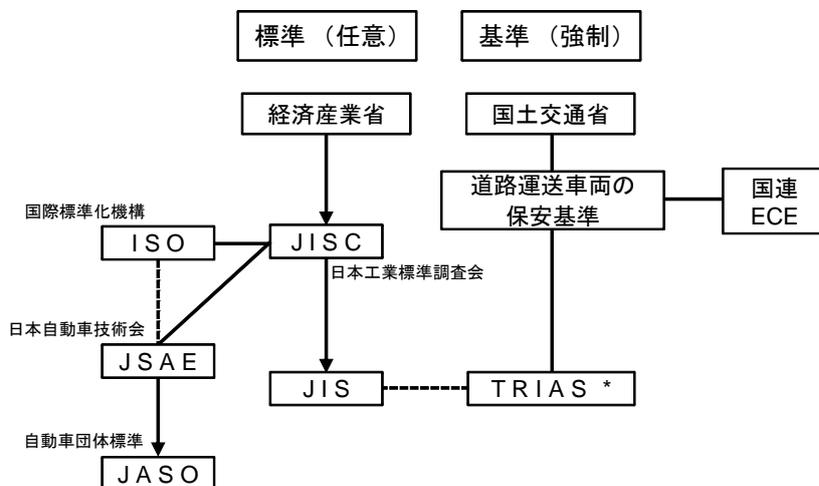
自動車に関係する標準には、

- (1) 団体標準：日本自動車技術会の標準である JASO（自動車団体標準）、米国自動車技術会の SAE Standard などがあり、国家標準である JIS や国際標準の ISO を補完している。このうち SAE 規格は自動車に関してはかなりの部分が ISO 化されている。
- (2) 国家標準：国家的に認められた標準機関によって制定された標準で日本では JIS が相当する。JIS は積極的に国際標準 ISO との整合化 (harmonization) を図っている。
- (3) 国際標準：国際標準化機構 (ISO) の定める ISO 標準、国際電気標準会議 (IEC) の定める IEC 標準などが自動車に関連する代表的な国際標準である。図 7.1 に基準と標準の体系図を示す。

7.2 ブレーキ基準とブレーキ技術

日本で自動車に関する基準は昭和 26 年 7 月 28 日運輸省令第 67 号道路運送車両の保安基準で平成 20 年 7 月 7 日国土交通省令第 59 号として改正されたものが現在最新のものである。それまでに百数十回の改正が行われ新しい規制が追加されている。制動装置に関する条項は第 12 および 13 条である。その条文は二系統ブレーキ（常用ブレーキと駐車ブレーキ）以外に何を規制しているのかを知るには、別に定められた告示および別添を見る必要がある。

また欧州では 1970(昭和45)年に国連欧州経済委員会 (ECE) でブレーキの基準として R13 が制定された。この基準には路面摩擦係数 (μ) 利用率の制定などがあり、後輪液圧制御装置の装着が必須である。1998 年に国連機関である ECE の技術基準との国際調和を図る協定 (グローバル協定) が結ばれ、現行の保安基準 (制動装置に関する 12 条および 13 条) は ECE R13H と全く同一の内容となっている。米国では FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) No. 105 が昭和 42(1967)年に制定され二重ブレーキと圧力失陥警報装置の装着を義務付けている。これとは別に、小型車のカテゴリーの基準として ECE R13H と整合させた FMVSS 135 を 1998(平成10)年に制定しており、ブレーキの安全基準はほぼ世界中同じ規格となっている。FMVSS にしても ECE R13H にしても数十回の改正をへて現在の基準となっているのは保



* Traffic Safety and Nuisance Research Institute's Automotive Type Approval Test Standard (新型自動車の試験方法)

図 7.1 基準と標準の体系図 (自動車基準認証国際化研究センター カントリーレポートから)

表 7.1 内外のブレーキに関する基準の改正経緯とブレーキ技術の関連

年	国土交通省令 保安基準	海外法規の動向	日本のブレーキ関連事項 (初めて採用された事項のみ)
昭和26(1951)年 昭和39(1964)年	・運輸省令第67号として制定		・タンデムマスターシリンダ採用 ・ディスクブレーキ採用(オポード型、フローティング型)
昭和42(1967)年	・大型車に二重安全ブレーキの装着義務付	・FMVSS105制定 二重ブレーキ ブレーキ失陥警報装置義務付	・差圧警報バルブの採用 ・液圧制御弁の採用 ・フローティング型ディスクブレーキの採用拡大
昭和44(1969)年 昭和45(1970)年 昭和46(1971)年		・ECE R13制定	・後2輪制御ABSの採用 ・液面警報装置の採用 ・セミクローズドスライド・フィスト型ディスクブレーキ採用
昭和48(1973)年	・二重安全ブレーキ装着の全車種への拡大 ・ブレーキ操作力低減		
昭和49(1974)年	・ブレーキ液漏れ警報装置(失陥警報装置)の義務付		
昭和51(1976)年 昭和53(1978)年		・FMVSS105-75乗用車性能要件強化(フロントディスクブレーキ化促進)	・フィスト型(フローティング)クローズドスライドディスクブレーキの採用拡大 ・4輪制御ABS採用
昭和58(1983)年		・FMVSS105-83小型トラックおよびバンへの性能要件強化(同上)	
平成2(1990)年	・大型トラクタなどへのABSの装着義務付		
平成5(1993)年	・乗用車のブレーキ性能要件強化 ・ブレーキ操作力低減 ・ABS装着義務付を中型トラクタ、トレーラーに拡大	・FMVSS121大型車に摩擦材の自動調整装置の装着義務付	
平成8(1996)年 平成9(1997)年	・ブレーキ操作力の低減	・FMVSS121大型車エアブレーキのアンチロックブレーキ装着義務付(その後液圧ブレーキ車に拡大)	
平成10(1998)年		・FMVSS135の制定 ・ECE R13Hの制定	
平成11(1999)年	・乗用車に自動摩耗調整装置の装着義務付		

安基準と同様である。その改正に伴いブレーキの技術開発、改良が行われてきた。

現行の保安基準の12条および13条に付随する告示と別添はECE R13Hと調和させてある。この保安基準のブレーキに関する最初のエポックは、「二重安全ブレーキ」装着の義務づけである。二重安全ブレーキは、ホイールブレーキはそのまま、マスターシリンダをタンデムマスターシリンダに変更することで達成できる(大型車はセーフティーシリンダでも可能)。当初は昭和42(1947)年8月、大型自動車への装着を義務づけ、ついで昭和48(1973)年7月に全車種への装着を義務づけた。これはFMVSSに追随した結果で

ある。乗用車のタンデムマスターシリンダは既に昭和39(1964)年に一部車種への採用が始まり、昭和48年までには小型商用車を含むほとんど全ての車種に採用されていた。

昭和49(1974)年には主ブレーキの故障警報装置を義務化した。FMVSSでは圧力失陥警報装置が規定されていたが、保安基準ではそのころまでに広範囲に採用されていた液面警報装置でも可能となり、後に1975年にFMVSS 105-75で液面警報を認めた。

もう一つのエポックは平成2(1990)年には大型トラクターへアンチロックブレーキを義務化したことであろう。日本における大型車(特にトラクター・トレー

ラトラックのジャックナイフ現象)の事故多発に対する処置であった。平成5(1993)年には乗用車のブレーキ性能要件を強化およびブレーキ操作力軽減などを規定している。更にアンチロックブレーキの装着義務を中型トラックまで拡大した。

表7.1に保安基準、米国安全基準FMVSS105および135、ECE R13Hの制定およびその改正経緯とブレーキの技術的な関連を示す^(注39)。法規による規制はどちらかということ事前に制定のアナウンスをするため、ほとんどの場合業界では先取りする形で採用が促進されている。いずれにせよ法規制およびそのような規制を促す社会の要求が自動車とそのブレーキ技術の発達を促した一面は見逃せないであろう。ただこのような規制の強化は、1960年代後半から欧米の自動車先進国で始まり、それが日本へ波及してきたということも否めない。

(引用文献)

(注1) JASIC カントリーレポート「日本の自動車安全・環境に関する制度」2007年度版 6章 P99-100 から

(注2) JASIC カントリーレポート「日本の自動車安全・環境に関する制度」2007年度版 P34、35の表から
ブレーキ関連基準のみピックアップの上、海外法規の動向及びブレーキ関連事項を追加して作成

(参考文献)

- ・自動車工業会 安全公害委員会 安全対策部会「保安基準・FMVSS・ECE・EEC 比較対応表」昭和55年
- ・自動車工業会 技術委員会 海外技術管理部会「各国技術法規比較表」1985年12月
- ・国土交通省 保安条例第12条(制動装置)

8 | ブレーキ技術の系統化とまとめ

8.1 系統化

日本のブレーキ技術は自動車の国産化の始まった時期から模索が始まった。当初は既存の外国技術の輸入し模倣することから始まった。この事は他の産業技術と大きな変わりはない。しかし海外においても現代のブレーキ技術に直接つながる第一歩は、1920年代に始まったマルコム・ロッキードの液圧ブレーキシステムの実用化であった。米国においてクライスラー、GM、フォードが本格的に液圧ブレーキに取り組んだ時期とさほど違わない昭和7(1932)年には日本でも液圧ブレーキの研究が始められている。

戦前においては、欧米のような自家用車主体ではなく、軍用車や商用車としての技術開発が主であったが、ブレーキにおいてはブレーキシリンダやドラムブレーキの開発、さらには液圧ブレーキの主要な構成要素であるゴムカップやブレーキホースのゴム材料、摩擦材の材料開発、ブレーキ液の開発など要素技術の開発はある程度の成果を収めていたのは間違いない。その基礎があって初めて戦後の進駐軍からの調達をこなすことができたはずである。

戦後の日本は、軍事につながると言う懸念から航空機産業への門を閉じられたこと、昭和30年代後半までは国内の道路網、就中高速道路が未発達であったこと、自動車レースで新技術を競い合う環境がなかったことなどから、欧米の最新のブレーキ技術、航空機や自動車レースで発展したディスクブレーキの技術は圧倒的に後れをとっていた。この様な背景から昭和30年代から昭和40年代は海外技術の導入が最も盛んな時期で、日本の自動車用ブレーキ技術の実質的出発は昭和30(1955)年からであったと言っても過言ではない。

ブレーキ技術のエポックメイキングな変換点の第1はマルコム・ロッキードが1917(大正6)年に発明した「4輪液圧ブレーキシステム」であり、第2はジャガーとダンロップのチームが完成させ、昭和28(1953)年ル・マンのレース場で大いなる結果を見せつけたディスクブレーキである。

技術以外の分野からブレーキを大きく発展させた推進力は三つあげられる。第1には米国ラルフ・ネーダーの市民運動をきっかけとして自動車の安全性関連の法規制化が進んだ「自動車の安全向上要求」、第2には、

第1次および第2次石油危機をきっかけに起こった「省燃費」、第3は「公害対策」である。具体的には「二重安全ブレーキ」、「耐腐食性の向上」、「軽量小型化」と「引き摺り抵抗軽減」、「摩擦材の非石綿化」等があげられる。これらの要素をきめ細やかに改善工夫を行った結果、ブレーキシステムとその構成要素の技術が大きく発展していったのである。

ブレーキは自動車部品の中で「重要保安部品」として位置づけられており、安全性の要求を第一に受ける部品の一つである。基本的にはブレーキの発展は安全性の追求であった。ディスクブレーキも、その安定性が安全性に直結するものとして求められた。いかに効きの良いブレーキであってもサーボ型のドラムブレーキのような安定性に欠けるブレーキは、ディスクブレーキの発達と共に淘汰された。ABSの発達も効きが不安定なドラムブレーキの淘汰を加速した。

現在ブレーキの安全性と言うことではABSが第一に考えらる。自動車の本格的なABSは、昭和44(1969)年のフォードを皮切りにGM、クライスラー、トヨタ、日産などが相次いで採用した、後2輪制御方式に始まる。4輪制御ABSは、小型軽量化、低コスト化により現在ではほぼ全車に普及した。更に、電子スタビリティ制御装置(ESC)、トラクションコントロール(TCS)、電子ブレーキ力配分装置(EBD)へ発展していった。

これらの電子システムの発達は、ブレーキの構成部品にさらなる影響を与えた。例えば、4輪ディスクブレーキの採用拡大、ハイフロー型マスターシリンダの登場、さらに後輪液圧制御弁(プロポーションングバルブ)を不要としたことなどがあげられる。

表8.2、8.3にブレーキシステムの具体的な発展の例としてトヨタの代表的車種であるクラウンとコロナのブレーキ形式の変遷、表8.4にブレーキ技術発展の系統図を示す。

8.2 考察及びまとめ

本調査に取りかかり始めたとき、自動車用ブレーキ装置として、大型車用エアブレーキ(エアオーバーブレーキ)、20年ほど前から発展著しいABS、ESCなど電子ブレーキ制御システム、ややジャンルを異にする2輪車用ブレーキも調査の対象に含めることも考えたが、ブレーキシステムというものが、「1章は

じめに」で述べたように構成部品が個別のユニットに分かれ、それぞれが独立した別々の技術であること、システムと言っても個々のユニットを配管で接続したもので扱うべき内容が多岐にわたることから、現在最も多く生産され、保有されている乗用車、小型トラック、スポーツユーティリティ車（SUV）などを中心とした液圧ブレーキシステムに限定して記述せざるを得なかった。

しかし、そのような限定を加えても 100 年近くにわたる個々のユニットの技術発展の内容を網羅することはできなかつた。今回取り上げることができなかつた ABS 等の電子制御ブレーキシステム、大型車用ブレーキシステム、2 輪車用ブレーキブレーキシステム、本調査では簡単にしか触れられなかつた摩擦材、特にディスクブレーキのパッド材料を中心とした摩擦材についてはそれぞれ独立項目として取り上げ、系統化されることを今後期待したい。

今回の調査を行って明確にしたいことは、自動車技術（と言うより自動車文化と言った方が適切かもしれない）の基礎は欧米にあり、日本の実質的な自動車元年（と言うことはブレーキ元年でもある）は、どう遡っても昭和 30 年前後であったと言うことである。第 2 次世界大戦がなく、昭和の大恐慌以降も欧米の技術情報を間断なく得られていれば様子はもう少し違っていたであろうが、昭和初期に芽を吹いた自動車とその部品技術は、細々とした線ではつながっていた様に見えるが、やはり戦争で一度萎んでしまったように見える。

しかも昭和 30 年は現在のように縦横に張り巡らされた高速道路どころか、都市部及びその近郊部を除けば自動車が満足に走れる道路もほとんど無い状態であった。自動車の基本的な要件「走る・曲がる・止まる」に深く関係した「ブレーキ技術」は、日本とは対蹠的な開発環境下の欧米の後について行く以外には方法がなかつたと言える。しかし自動車、特にブレーキやサスペンションは日本の得意とする細かな「すり合わせ」技術の固まりであり、基本技術は輸入に頼らざるを得なかつたが、その性能向上、品質向上に細かなたゆまざる努力で工夫改善した日本のカーメーカーとブレーキメーカーが果たした役割は大きかつたと考える。

最後に今回の調査にあたり痛感したのは、資料の破棄、散逸が思いの外激しく進んでいて、昭和 30 年代はおろか 40 年代の図面や量産サンプルが最早殆ど残っていない。ブレーキ業界は日本を巻き込んで世界的に企業の買収や合併が進み、大部分の会社が昔のままの形では残っていないこともあるが、重要保

安部品とはいえ、車の中での位置づけがあまり高くないことが残しておこうという機運にならなかつたのであろう。そう言う意味では曙ブレーキのブレーキ博物館の貴重な蒐集物の展示、旧自動車機器の初期のブラスターなどの保存サンプル、旧ナブコの中西文書や旧トキコの古い手書き図面等が破棄されずに残っていたことは希有のことと言わねばならない。現役の方々には今あるものをきちんと後世に残す努力をお願いしたい。

(参考文献)

・田中博久他 「ブレーキにおける革新的な技術」 自動車技術 Vol.59 No.1 2005 年 自動車技術会

謝辞

本報告書を作成するにあたり、多くの方に資料の提供や貴重なご意見、ご助言を頂いた。ご提供いただいた資料や情報はかなりの量に上り、また貴重な技術資料もあつたが、紙面の関係でその全部を報告書に盛り込むことはできなかつた。以下資料、情報等をご提供いただいた方々の組織名とお名前（敬称、肩書き略）を記し謝意に代えたい。

曙ブレーキ	岡田光雄、佐々木要助 庄司安男
アドビックス	安栖一美、柴谷寿一
エチレンケミカル	中林 修
トヨタ博物館	清水道明、中村由以、 早戸真琴、山田耕二
豊田合成	近藤貴之
日産テクノ	古田進
日信工業	篠原孝義、小林清孝
日清紡	和川有一
日立製作所（旧トキコ）	坂爪武、烏谷康夫
ポッシュ	石原公雄、山家輝雄
元アイシン精機	古田陽一
元曙ブレーキ工業	荻野欽治
元鬼怒川ゴム	内田静吾
元辰栄工業	荒木義晴
元住友電気工業	喜多康夫、中川光彦
元ナブコ	亀本勝昭
元ニ玄社	高島鎮雄
元トキコ	小林四郎、菟川哲男
元ルーカス・ジャパン	矢山禎昭

（社）日本自動車部品工業会「ブレーキシリンダ技術委員会」

表 8.1 ブレーキ技術登録候補（登録推薦順に記載）

番号	名称	資料形態	所在地	制作者	制作年	コメント
1	駐車ブレーキ機構内蔵コレット型ディスクブレーキ	量産品	日立製作所 ASグループ 山梨事業所	旧トキコ	1981年	トキコが世界で初めて開発したロードインセンシティブ駐車ブレーキ機構を内蔵したディスクブレーキ。英ガーリング社へも心臓部の構成部品を輸出した。
2	米フォード乗用車向けファーストフィル型TMC(P/バルブ付)	量産品	日立製作所 ASグループ 山梨事業所	旧トキコ	1982年	日本初の米国ビッグ3向けブレーキ製品輸出となった。ファーストフィル機構と世界最小のねじ込み型プロポーションジョーニングバルブ付のタンデムマスターシリンダ。
3	AD型ディスクブレーキ	量産品	曙ブレーキ ブレーキ博物館	曙ブレーキ	1978年	曙ブレーキが独自開発したフィスト型クローズドスライドディスクブレーキ。 1982年日本機械学会受賞
4	Mk.2オポーズド型ディスクブレーキ	補用品	曙ブレーキ ブレーキ博物館	住友電工	1964年	日本初のオポーズド型ディスクブレーキ。ダンロップからの技術導入。サンブルは自動車用と同一形式である産業機械用の補用品として製造されたものを市場で購入した。
5	FSI型フィスト型ディスクブレーキ	量産品	曙ブレーキ ブレーキ博物館	曙ブレーキ	1964年	日本で最初のフィスト型ディスクブレーキであり量産化したものである。技術はFrance Bendix社(現Bosch)の技術導入し量産化した。
6	コレット型ディスクブレーキ	量産品	日立製作所 ASグループ 山梨事業所	旧トキコ	1979年	基本特許を有する英ガーリング社との技術提携で製造された完全密閉型ピンスライドのフィスト型ディスクブレーキ。この形式は住友電工、日信工業もガーリング社と提携し製造した。最新のディスクブレーキは殆どこの形式となったエポックメーカーキングな構造。
7	タンデムマスターシリンダ Co./Cv	製作図原紙	日立製作所 ASグループ 山梨事業所	旧トキコ	1964年	プリンスグラッドゴロリア用として開発された日本最初期のコンベンショナル/センターバルブ型タンデムマスターシリンダ(TMC)のオリジナル製作図面である。日本最初のトヨタクラウンエイトのコンベンショナル型TMCに僅かに遅れて量産採用された。
8	メカニカルブレーキアシスト付 タンデムブラスター	カット サンプル	ボッシュ	旧自動車機器	1997年	世界初のメカニカルブレーキアシスト機構を搭載した真空ブラスター、トキコと同時に開発、量産採用となった。
9	アトラス型ハイδροマスター	カット サンプル	ボッシュ	旧自動車機器	1955年	自動車機器がベンディックスと提携し日本で初めて量産した間接型真空倍力倍力装置
10	4.5サイズシリーズ1型 シングルブラスター	量産品	ボッシュ	旧自動車機器	1964年	日本初のダイレクトアクティング真空ブラスター(7.5及び4.5サイズの2種)の内4.5サイズのサンプル
11	「自動車用ブレーキ」3部作	手書き文書 原紙 (一部コピー)	ボッシュ	旧ナブコ	1961年 ~78年	ブレーキ技術の歴史を辿る貴重な文書、ただし第3部は原紙が失われ、湿式コピーのみ保管されている。一括して保存されることが望ましい。

表8.2 トヨタ クラウンのブレーキの発展経過

型式番号	発売年	マスターシリンダ形式		ブースター形式	圧力制御弁	ホイールブレーキ形式		備考
		TMC形式(Pri./Sec.)	リアブレーキ			フロントブレーキ	リアブレーキ	
RS型	S30年1月	フランジャー(ガーリングOB)型MC	なし	なし	なし	ツリーディング型ドラム	リアブレーキ リーディングトレーリング型ドラム	
RS21	S33年9月	CB型MC	なし	なし	なし	ツリーディング型ドラム	デュオサーボ型ドラム	
RS3/30	S37年5月	CB型MC	なし	なし	なし	ツリーディング型ドラム	デュオサーボ型ドラム	
RS40	S37年9月	CB型MC	なし	なし	なし	ツリーディング型ドラム	デュオサーボ型ドラム	
VG-10	S39年5月	コンベンショナル(Co)/Co型	なし	なし	なし	ツリーディング型ドラム	デュオサーボ型ドラム	クラウンエイト
MS41/41-S	S40年10月	コンベンショナル(Co)型MC	6"MCボディー1体型	なし	なし	ダンロップ型オボーズディスク	リーディングトレーリング型ドラム	
RS50/MS50	S42年9月	CB型	なし	なし	なし	ツリーディング型ドラム	デュオサーボ型ドラム	
FS60	S43年8月	Co/CoTMC	分割式ブースタ	PCV	PCV	ダンロップ型2Potディスク	デュオサーボ型ドラム	
MS/RS60/MS70	S46年2月	Co/CoBTMC	分割式ブースタ	PCV	PCV	ガーリング型4Potディスク	デュオサーボ型ドラム	ハトロールカー
RS80/MS80	S49年10月	Co/CoTMC 液面警報スイッチ付	シングルブースタ	PCV	PCV	ディスクブレーキ	デュオサーボ型ドラム	
MS82/83	S50年1月	Co/CoTMC 液面警報スイッチ付	7.5"および9" シングルブースタ	P&Bバルブ (プロポーション ニング&ハイ パスバルブ)		ツリーディング型ドラム	リーディングトレーリング型ドラム	パッド摩耗警報、液面警報、バキキューム低下警報
MS100/RS100	S53年2月	Co/CoTMC 液面警報スイッチ付	7.5"シングル 9"シングル 9"シングル	P&Bバルブ		ツリーディング型ドラム 2Pot(S16)ディスク	リーディングトレーリング型ドラム フロート型PS12ディスク	パッド摩耗警報、液面警報、ウァキューム低下警報
RS110/MS110/ LS110	S54年9月	Co/CoTMC 液面警報スイッチ付 一体型レザーパー	7.5"シングル 7.5"タンデム 9"シングル 7.5"シングル	P&Bバルブ		ツリーディング型ドラム フロート型 FCS17ディスク	リーディングトレーリング型ドラム フロート型PS12 PS一体リザーバの採用	
GS120/MS120/ Ys120	S58年8月	Co/CoTMC 液面警報スイッチ付 一体型レザーパー	7.5"タンデム(軽量型) 9"シングル(軽量型) 8"シングル(軽量型) 8+9タンデム(軽量型)	P&Bバルブ		ツリーディング型ドラム フロート型 FCS17ディスク	リーディングトレーリング型ドラム フロート型PS12 ドラムインディスク	後輪ABSの採用 PS一体リザーバの採用
GS130/MS130/ YS130	S60年9月	Co/CoTMC	8"シングル(軽量型) 9"シングル(軽量型) 9"シングル(軽量型)	P&Bバルブ		ツリーディング型ドラム フロート型 FCS17ディスク	リーディングトレーリング型ドラム フロート型PS12 ドラムインディスク	4輪ABSの採用
GS15	H7年8月	Co/GV2(ピストン側シート)	8+9タンデム(軽量型)	P&Bバルブ		ツリーディング型ドラム フロート型 FCS18ディスク	リーディングトレーリング型ドラム フロート型PFE12 ドラムインディスク	4輪ABSのダイアグノーシス改善
GS15	H9年7月	GV2/GV2(ハイフロー型)	8.5"タンデム(軽量型)	廃止		ツリーディング型ドラム フロート型 FCS18ディスク	リーディングトレーリング型ドラム フロート型PFE12 ドラムインディスク ドラムインディスク ドラムインディスク	ABSのみとABS+TRC装着車あり

トヨタ博物館所蔵のトヨタクラウン、トヨタクラウン新型車解説書及びクラウンエイトの修理書(ただし全部は網羅はしていない)より作成

表8.3 トヨタコロナのブレーキの発展経過

型式番号	発売年	マスターシリンダ形式 TMC形式 (Pri./Sec.)	ブレーキ形式	圧力制御弁	ホイールブレーキ形式		備考
					フロントブレーキ	リアブレーキ	
ST10	S32年6月	プランジャー(ガーリングCB)型	なし	なし	ツリーディング(2L)ドラム	リーディングトレーリング(LT)型ドラム	だるまコロナ、クラウンの部品流用
PT20	S35年4月	CB型	なし	なし	ツリーディング(2L)ドラム	デュオサーボ(DS)ドラム	クラウン(RS21)からの流用
RT40系	S39年9月	コンベンショナル(Co)型 アルミ合金製	なし	なし	デュオサーボ(DS)ドラム	デュオサーボ(DS)ドラム	
RT40S	S40年4月	Co型アルミ合金製	なし	なし	ダンロップ型オポーズディスク	LT型ドラム	コロナS
RT40系(2)	S43年(?)	Co型アルミ合金製	6 2/3" 分割式ブースタ	PCV	ガーリング型オポーズディスク(S14)	LT型ドラム (オートアジャスター無)	RT80/82の解説書による (途中で設変?)
RT80/82	S45年2月	CB型	なし	PCV (車種による)	デュオサーボ(DS)ドラム	デュオサーボ(DS)ドラム	
RT81/84/91/94/95他	S47年8月	Co/Cv(センターバルブ)型	6"シングルブースタ	PCV	フローティング型Fディスク	LT型 (オートアジャスター付)	
TT100/RT100ほか	S48年8月	Co/Cv型 (CV用バルブシート廃止)	—	PCV(全車)	2Lドラム	LT型ドラム	RT80/82の改良、ドラム車のサーボブレーキをノンサーボブレーキに変更
TT120/RT120/他	S52年1月	Co/Co型 (一部車種に液面警報Swを装着)	6"シングル 7.5"シングル	PCV (KH型全車)	F型ディスク S16型ディスク 2Lドラム	LT型ドラム	第5次国内保安基準改正項目をすべてクリア。OKモニター付きはMCリザーバは液面計付
TT130/RT133/T T132など	S53年9月	Co/Co型	7.5"シングル 9"シングル	PCV (KH型全車)	F型ディスク S16型ディスク ツリーディング(2L)ドラム S16型ディスク	LT型ドラム	
AT140/ST140/T T142/RT142他	S57年1月	Co/Co型	シングル型	PCV (KH型全車)	フローティング型AD51ディスク フローティング型FS17ディスク F型ディスク	F型ディスク(ビルトインHB機構付) ドラムインディスク付フローティング型PSI2	タクシー仕様 4輪ディスク車の設定
ST150	S58年1月	Co/Co型(アルミ合金製同閉型)	8"シングル軽量型	DPCV(KH型)	ツリーディング(2L)ドラム	LT型ドラム	タクシー仕様
ST160等	S60年8月	Co/Co型(アルミ合金製同閉型)	9"シングル軽量型	DPCV(KH型)	フローティング型PD51S型ディスク	LT型ドラム	FF車ダイヤゴナルスプリット
AT170/ST170.1 71/CT170/ET17 6V等	S62年12月	Co/Co型(アルミ合金製同閉型)	8"シングル軽量型 9"シングル軽量型	DPCV(KH型)	フローティング型PD54型ディスク フローティング型PD54型ディスク フローティング型PD57型	AD型ドラムインディスク LT型ドラム LT型ドラム	
AT190他2W	H4年2月	Co/CV2(ピストン側シート)	7+8タンデム軽量型 9"シングル軽量型	DPCV(KH型)	7+8タンデム軽量型 9"シングル軽量型	AD32R(ドラムインディスク)	FF車、ABS装着
同4W		Co/Co型(アルミ合金製同閉型)	7+8タンデム軽量型 9"シングル軽量型	DPCV(KH型)	7+8タンデム軽量型 9"シングル軽量型	AD32R(ドラムインディスク) LT型ドラム	ABS装着車
AT21他	H8年1月	Co/Cv2(ピストン側シート)	7+8タンデム軽量型 7+8タンデム軽量型	DPCV(KH型)	7+8タンデム軽量型 9"シングル軽量型	PD35R(ドラムイン) LT型ドラム	ABS装着車 ABS全車標準装備

トヨタ博物館所蔵のトヨタコロナ、トヨタコロナ新车型解説書(ただし全部は網羅していない)より作成

表8.4 ブレーキ産業技術の系統化(1) (各文頭に和暦で示した事項は日本国内事項、西暦で示した事項は海外事項を示す)

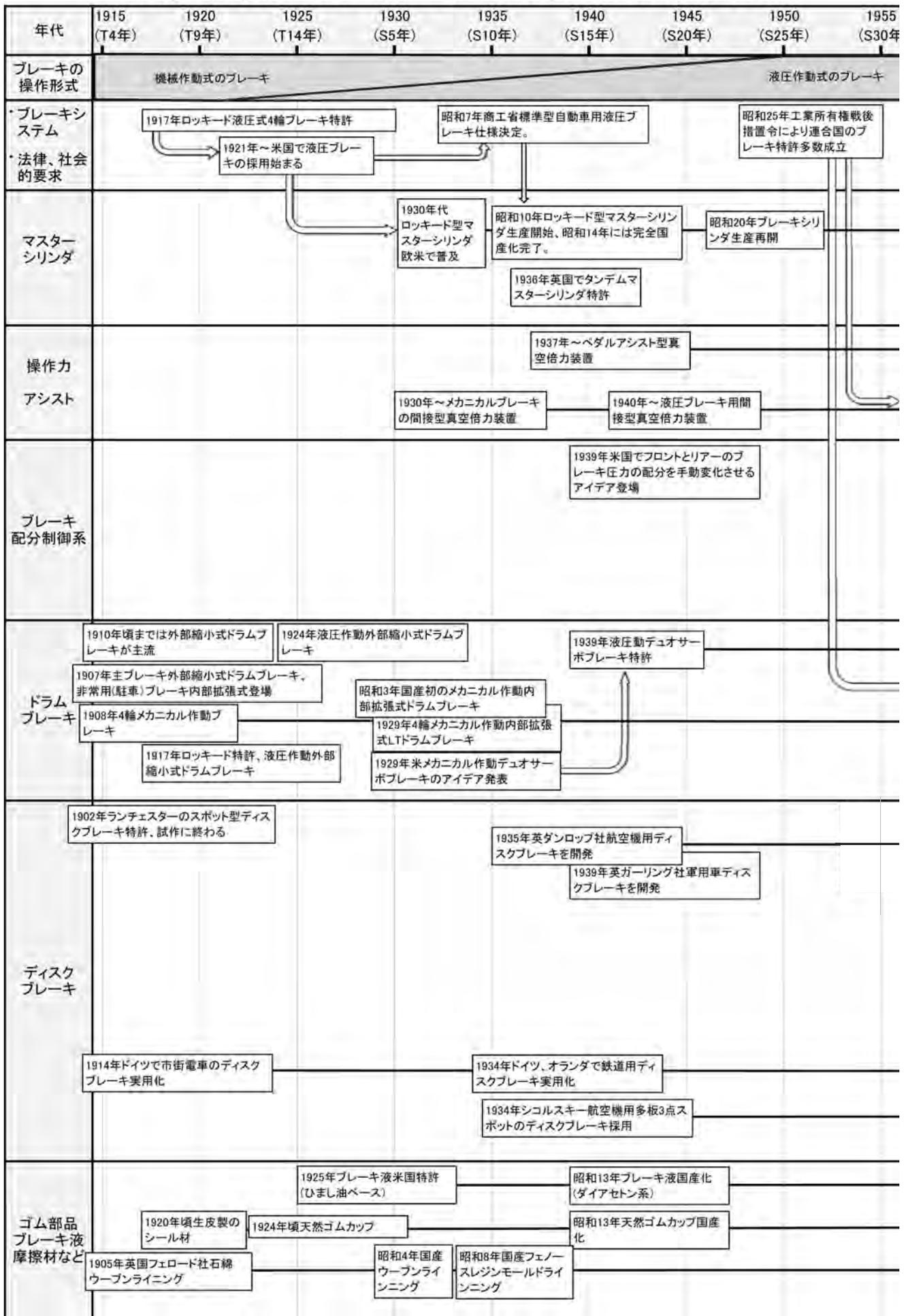
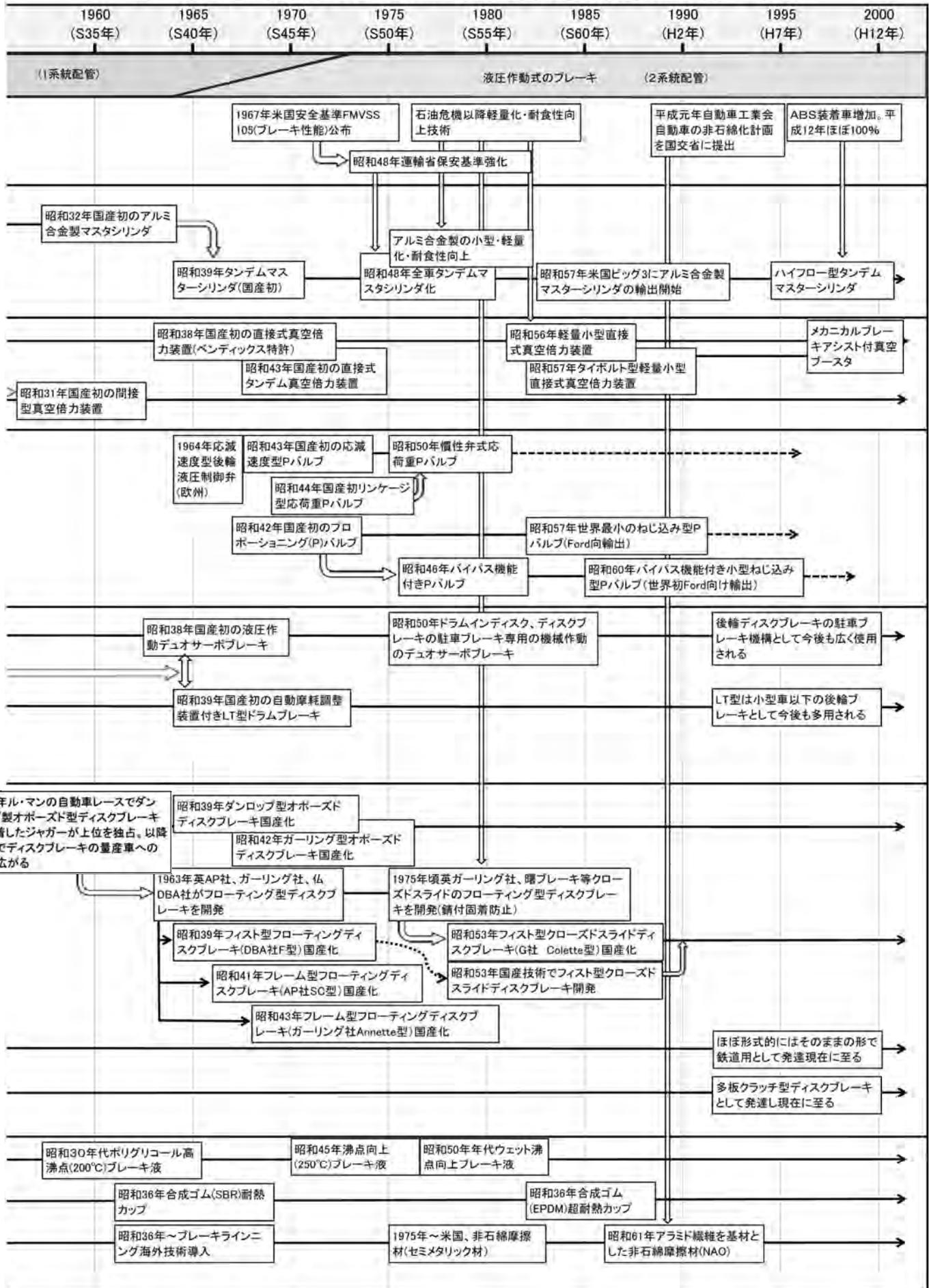


表8.4 ブレーキ産業技術の系統化(2) (各文頭に和暦で示した事項は日本国内事項、西暦で示した事項は海外事項を示す)



国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第14集

平成21(2009)年5月29日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田宇征、エディット 大倉敏彦・久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク