安全に貢献する自動車用ブレーキの発展*

Development of the Brake for Cars, Which Contribute to Safety

須賀登志隆** 牧 一哉** 児玉博之**

Toshitaka SUGA, Kazuya MAKI and Hiroyuki KODAMA

Key words

brake, master cylinder, brake booster, drum brake, disk brake, active safety, Brake Assist (BA), Antilock Brake System (ABS), Electric Stability Control (ESC), pre-crash brake system

1. はじめに

自動車用ブレーキの操作・伝達系は、その創生期にはリンクとロッドを用いた機械式システムであった。ガソリン自動車誕生の約30年後に米国のマルコム・ロッキードがハイドロリックブレーキ（液圧ブレーキ）システムを開発したことにより、すべての車輪に効率よく均等にブレーキ力が作用されるようになった。

その後、自動車の高速化によって、常に安定した効きを確保し短い距離で停止することが求められ、ディスクブレーキとその摩擦材の開発、加圧倍力装置による操作力の軽減などが開発されてきた。さらに近年では、積極的にブレーキを使用して、走行安定性を向上させるアクティブセーフティの領域の技術開発にまで広がってきた（図3）。

本稿ではブレーキシステムを、ドライバの操作力を液圧に変換する「加圧系」と、液圧をブレーキ力に変換し車両の運動エネルギーを熱エネルギーに変える「足回り系」と、液圧を電子制御してブレーキ力を調整する「制御系」に分け（図1）、それぞれの革新的な技術と将来の展望について述べる。

2. 加 圧 系

2.1 液圧ブレーキの加圧装置

一般的な液圧ブレーキの加圧装置は、ペダル踏力をブースタ（サーボユニット）で倍力し、その力をマスタシリンダによって液圧に変換する構成で1920年ごろから使われ

ている。ブースタは、エンジンバキューム（負圧）を利用する構造が多く使用されている。

2.2 マスタシリンダ

マスタシリンダは、液圧を発生させるシリンダ部とブレーキ液を蓄えるリザーバによって構成される。基本的な動作は、ペダルストロークにより、ブースタを介してシリンダ内のピストンが移動し、リリーフポートが塞がれて足回り系ブレーキにブレーキ液を送り込みながら昇圧する。構造例を図2に示す。最近では、軽量化や車両衝突時の安全性から小型なプランジャタイプの採用が増加している。

2.3 ブースタ

ブースタの基本機能は、定圧室と変圧室の圧力差を利用して入力（ペダル踏力）を増出力する機能だが、圧力差を電氣的または機構的手段で制御して自動加圧をするなど、新たな機能付加も可能にしている。自動加圧は、ブレーキを利用した車間制御¹⁾、横滑り防止装置の加圧や緊急時のブレーキアシスト機能²⁾に使用されている。

2.4 ブレーキアシスト

図1 ブレーキシステムの構成例

(a) コンベンショナルタイプ (b) プランジャタイプ

図2 マスタシリンダの構造例

*原稿受付 平成20年12月24日

** (株) アドヴィックス (愛知県刈谷市昭和町2-1)

須賀登志隆

1981年広島大学工学部第1類卒。同年アイシン精機(株)に入社。現在(株)アドヴィックスシャシシステム技術部部長。

牧 一哉

1982年信州大学工学部電子工学科卒。1987年(株)デンソーに入社。現在(株)アドヴィックス

シャシシステム技術部技術企画室室長。

児玉博之

1985年岐阜大学工学部電子工学科卒。同年アイシン精機(株)に入社。現在(株)アドヴィックスシャシシステム技術部技術企画室主担当。

図3 ブレーキの革新的な技術の歴史

図4 メカニカル式ブレーキアシストブースタの例

ドライバの中には、緊急時でも十分な踏力でブレーキを踏み込めない人がおり、制動距離が長くなってしまうケースが指摘されている。これらドライバを支援するため、急制動時、ブレーキの効きを高める機能がブレーキアシストである。ブースタを電氣的に制御するシステムやメカニカルな機構をブースタに組み込んだタイプなどがあり、1996年ごろから製品化されている。図4に、メカニカルタイプの構造例を示す。ペダルの急踏み込みによって入力軸がピストンなどの内部部品に対して前進し、フックとスライドバルブの係止が外されて、ブレーキアシストモードに切り替わる。

3. 足回り系

3.1 ドラムブレーキ

初期のブレーキは摩擦材料を金属バンドでドラムの外側から締め付ける構造であった。その後、ドラムの内側にブレーキシューを外向きに押し当てる構造に変化し、液圧によって作動する現在のドラムブレーキに至った。

構造上、ブレーキライニングがドラム内に組み込まれるためブレーキで発生した熱が急速には放散されにくい。ライニングが高温になるとブレーキ力が急速に減少するフ

図5 キャリパ構造例

ェード現象が発生しやすいため、ドラムブレーキは、ブレーキ負荷の少ない後輪に用いられることが多い。

3.2 ディスクブレーキ

ディスクブレーキは、優れた放熱性によって、高速からの制動時や繰り返しブレーキなどで安定した効きを得ることができる。1952年にジャガーがディスクブレーキを装着してスポーツカーレースで優勝し普及がはじまった。

3.2.1 ディスクブレーキの種類

3.2.1.1 対向型キャリパ (図5-(a))

ディスクの両側に配置する摩擦材(パッド)にそれぞれシリンダとピストンを設けて両側から押し付ける構造を対向型キャリパと呼ぶ。シリンダ剛性が高くパッドの面圧を均一にしやすい特徴があるが、形状が大きい狭いホイール内には搭載しにくいという欠点がある。

3.2.1.2 浮動型キャリパ (図5-(b))

ディスクの片側だけにシリンダとピストンが配置され、対向型に比べて小型で搭載性にすぐれる。液圧によりピストンがパッドをディスクに押し付けるとその反力で浮動したシリンダが逆方向に移動しシリンダの爪部が反対側に配置されたパッドを引き寄せてディスクを挟む構造である。国内では1968年に装着され、このタイプのキャリパにより、ディスクブレーキは急速に普及した。

3.3 パッド

パッドは安定した摩擦係数と耐摩耗性・耐熱性等に加え、ドライバに不快感を与える鳴き・振動にも大きな影響

図6 ABSシステム構成

を及ぼす重要な部品の1つである。その材料構成は、効きを確保するための研削材や摩耗特性を改良するための潤滑材、強度を確保するための補強材等であり、これら複数の原料をフェノール樹脂により成形したものである。当初は補強材として耐熱性に優れ安価なアスベスト（石綿）が使用されていたが、1987年に始まった欧州のアスベスト規制や自動車メーカーの自主規制によりスチールファイバーやアラミド繊維等に代替されたノンアスベストパッドが急速に普及した。

4. 制 御 系

4.1 アンチロックブレーキシステム（ABS）

ブレーキを電子制御するという概念が最初に取り入れられたのがABSである。ABSは、滑りやすい路面や急ブレーキ時に、車輪ロックを防止して車両の安定性と操舵性を確保する。図6にシステム構成の一例を示す。一般的に4輪の車輪速度センサ、4輪のブレーキ油圧を独立に制御するアクチュエータ及びコンピュータで構成されている。このABSは、ドライバが操作したブレーキを自動的に緩めるので、停止距離が長くないようにするために、精度良い制御技術とフェールセーフなどを含む高い信頼性が必要である。当初、1969年のフォードを皮切りに、1971年のトヨタ、GM、クライスラーの車両に、エンジンバキュームを動力源とした後二輪制御のABSが装着されたが、高価であったために高級車種の一部に限られていた。近年の電子制御技術や電子部品の生産技術などの著しい進歩によって、車輪の回転状態や各種路面状況を精度良く検知し、きめ細かな制御ができるようになったために、1978年から4輪制御ABSが欧州で普及し始めた。その後、制御技術の一層の向上とともに小型・軽量化・低コスト化が進められ、現在では全車装着に近い状態にまで普及している。

4.2 トラクションコントロールシステム（TCS）

ドライバがブレーキを操作していないときに、車両の安定性を確保するためにブレーキを作用する思想が最初に取り入れられたのがTCSである。TCSは、滑りやすい路面での発進・加速時に、過剰なアクセル踏み込みによって発生するホイールスピンを、エンジンの出力を抑えとともにブレーキをかけて抑え、車両の安定性・加速性を確保す

図7 ESCシステム構成

図8 ESCの制御効果

る。

4.3 エレクトロニックスタビリティコントロール（ESC）

従来のブレーキは左右輪のブレーキ力の差を極力小さくして、ブレーキ時に車両が不安定な姿勢にならないようにすることが重点課題のひとつであった。このような“片効き”防止の逆転の発想で、左右のブレーキ力に差を与えてヨーモーメントを発生させ、車両走行時の安定性を向上させる思想が最初に取り入れられたのが横滑り防止装置ESC（Electronic Stability Control）であり、1980年代末に提案され、1995年にベンツとトヨタがほぼ同時に量産車に採用した³⁾。

ESCのシステム構成の一例を図7に示す。ドライバの操作と車両挙動を検出するために、ABSに対し舵角センサ、ヨーレートセンサ、横加速度センサなどが付加され、TCSと同様に自動加圧でき、4輪独立に加圧・制御できる構成である。ESCの制御効果を図8に示す。ESCは、ドライバがカーブの曲率や路面状態を見誤ってオーバースピードでカーブに進出したときや、急なハンドル操作を実施したときに、車両が不安定になることを抑制する。前輪が横滑りを始めたことをセンサが検知したときに、エンジン出力調整とともに、旋回内向きにヨーモーメントが発生するように各輪のブレーキ力を制御する。また、後輪が横滑りを始めたことが検知されたときは、旋回外向きにヨーモ

図9 衝突軽減ブレーキシステム構成

ーメントを付加するようにブレーキ力を制御する。

なお、ESCは車両単独事故や正面衝突事故において、大幅に事故を低減することができることが検証されており、米国では2009年から2012年の間に段階的に標準装着することが決定している。

近年ESCに加え、ステアリング、サスペンション、駆動力配分などシャシ制御全体を統合的に制御する試みが進められている。例えば、レクサスGSやLSに採用された、VDIM（アクティブステアリング統合制御）では、ブレーキ・エンジン・ステアリングトルクと併せて前輪の切れ角を最適に制御することで、より高い予防安全性と理想の車両運動性能を実現している。

4.4 アダプティブクルーズコントロール（ACC）

ACCの主な目的は、ドライバーの運転負担を軽減する運転支援である。最初のクルーズコントロールは、設定した速度を一定に保つために、エンジン出力を制御するものであった。近年レーダセンサなどからの情報を利用し、先行車との車間距離を保つように制御するACCが実用化されている¹⁾。これにはエンジン出力を制御するのみのものも一部にあるが、ブレーキによる加圧制御を併用することで、より実用性の高いシステムに発展してきた。ブレーキを加圧制御する方法として、ESCのシステムを使用したものや、ブースタを制御するものがある。

4.5 衝突被害軽減ブレーキシステム

レーダーなどのセンサ情報から前方を監視し、衝突事故の被害を軽減しようとする試みが、国土交通省主導で1991年スタートしたASV（先進安全自動車）プロジェクトの中で研究・開発されてきた。この成果のひとつとして衝突被害軽減ブレーキが2003年から本田、日産、トヨタなどによって相次いで実用化され始めている^{4)~7)}。この主

要システム構成の一例を図9に示す。主な構成は車間距離センサ、ブレーキアクチュエータ、コンピュータなどから成る。車間距離センサによって先行車との車間距離や相対速度を検知し、コンピュータによって衝突の危険性を予測して追突の危険性が高いと判断されたときに、警報したり、シートベルトを引き込むことによってドライバーに回避操作を促す。さらに接近し、衝突が回避できないと判断されたときには、自動的にブレーキをかけて衝突時の被害を軽減する。

5. ま と め

液圧を制御して車両の走行安定性を向上させる思想は1930年代からすでにあったが、この実現のためには高速、高精度で制御する技術が必要であり、この時代では夢物語であった。その後の電子制御技術や生産技術の急速な進歩によってこの夢が実用化できる環境になり、ブレーキは自動車の基本機能の「止まる」に留まらず、「走る」「曲がる」までの領域に関わり、走行安定性を大きく向上させるように進化してきている。さらに、レーダーやカメラの情報に加え、車一車・路一車間通信などを使って人間の認知・判断・操作を補助する機能開発も盛んに行われている。また、今後ハイブリッド自動車の普及・電気自動車への移行が予想されており、その対応として、電気を動力としたブレーキ（EMB: Electro Mechanical Brake）の開発も盛んに行われている。

これらシステムが自動車に広く搭載され、交通事故の減少/撲滅および、環境保護に貢献できるように、今後とも新たな革新技術と製品普及のための改良技術の開発に努めていく。

参 考 文 献

- 1) 飯島徹也ほか：ブレーキ制御付きACCの開発，自動車技術会学術講演会1999春季大会前刷集，No.114-99.
- 2) 三輪昭彦ほか：ブレーキアシスト用ブースタの開発，自動車技術会学術講演会1997春季大会前刷集，972，1997-5.
- 3) 井上秀雄ほか：予防安全と車両安定性制御システム（VSC）の開発，自動車技術，50，11（1996）.
- 4) 溝口和貴ほか：追突速度低減ブレーキシステム，自動車技術，58，7（2004）.
- 5) 藤波宏明：ブレーキ制御技術の再前線，自動車技術，57，12（2003）.
- 6) 田中博久ほか：ブレーキにおける革新的な技術，自動車技術，59，1（2005）.
- 7) トヨタ，日産，ホンダ等のホームページ.