鉄 道 車 両 の ブ レ ー キ

——電車の空気ブレーキを主体に——

近 藤 昭 次*
Shōji KONDO

Key Words: Air Brake, Brake, Electric Railcar, Fluid Power System, Railway Rolling Stock

1. ま え が き

一般に、鉄道車両は自動車などと異なり、単車で走ることよりも列車編成として運用されることが圧倒的に多いので、ブレーキシステムもとくにこの点が留意され、市街電車のように単車で運用される一部の車両を除き、常に列車分離に対して安全側に働くシステムが導入されている。鉄道車両には、蒸気、電気およびディーゼル機関車、客車、貨車、電車およびディーゼル動車というように多くの車種があり、それぞれ車種に適したブレーキ装置を備えている。近時、列車の高速化、長大化に伴い、ブレーキ装置も高性能のものが要求され、とくに新幹線を含む電車では、電磁弁を駆使した電気ブレーキ併用の電磁空気ブレーキが賞用され、さらに最近ではエレクトロニクスを導入した電気指令式空気ブレーキもしだいに多く用いられるようになってきた。また、これに伴い、空気ブレーキ用機器や弁類も急速な発展を遂げ、膜板やゴム弁を用いて高性能化と保守の合理化をはかっている。

2. 鉄道車両用ブレーキの変遷

2.1 最初は人力ブレーキ レールを用いた輸送の形態は、18世紀の末葉、イギリスにおいて炭山から石炭を運ぶのに車両を用いたことに始まり、当初は動力として馬力や人力によっており、ブレーキは人力ブレーキにたよっていた。

2.2 蒸気ブレーキの出現 19世紀にはいっ

て車両の動力が人畜力から蒸気力に置き換えられるようになると、車両の重量および速度は一躍増大し、とうてい人力ブレーキでは間に合わなくなった。このため、機関車で発生した蒸気をブレーキシリンダに送ってピストンを作動させる、いわゆる蒸気ブレーキが用いられるようになった。しかし、これは自車のみのブレーキには使用できるが、配管の保温やドレン処理などに手数を要し、列車用としては発達不能であった。

2.3 真空ブレーキの使用 真空ブレーキは、蒸気エゼクタや真空ポンプで得た真空度と大気圧との差を動力源として利用するブレーキである。列車用貫通ブレーキとして広く実用されたが、後に生まれた空気ブレーキに押されている。わが国でも空気ブレーキが採用されるまで、主として機関車および旅客車用として明治中期から昭和の初めまで使用された。

2.4 空気ブレーキの使用と発展 空気ブレーキは、1848年、Samuel C. Lister（アメリカ）が考案、後に George Westinghouse が 1869 年に実用化したのがその始まりである。真空ブレーキは、当時すでに実用化されていたが、このものは大気圧との差しか利用できないのに対し、空気ブレーキは弁構造が複雑にはなるが、真空ブレーキの数倍の圧力を利用できることから、車両用ブレーキとして急速に発達した。後に電磁弁を併用して電磁空気ブレーキ化することにより、さらに長足の進歩を遂げ、また最近では電気指令式空気ブレーキも出現し、今日の隆盛にいたっている。

2.5 電気・空気併用ブレーキの進展 ブレーキ時に主電動機を発電機として使用し、接続した負荷に発電電流を流すことによりブレーキ力を得る電気ブレーキは、近時、電気車両とくに電車に

* 日本国有鉄道車両設計事務所（〒151 東京都渋谷区代々木2-2-6）。

において盛んに用いられるようになった。電気ブレーキは、発電および回生ブレーキに大別され、従来は前者が主体であったが、最近では半導体技術の著しい進歩に支えられ、省エネルギーなどの観点から後者もしだいに多く用いられるようになってきた。しかし、一般に電気ブレーキは、低速ではブレーキ力が失効することと不時の電気ブレーキ失効を考慮して、必ず他のブレーキを併用しなければならない。このため、最近の電車では発電または回生併用空気ブレーキが広く採用されている。

3. 鉄道車両用ブレーキの種類

鉄道車両に用いられるブレーキには、いろいろな種類があるが、これを分類すると図1のようになる。大別すると、粘着ブレーキと非粘着ブレーキにわけられ、前者は車輪とレール間の摩擦（鉄道車両ではこれをとくに粘着と呼んでいる）を利

用したブレーキであり、後者は車輪と全く無関係なブレーキである。車輪の回転を抑制する末端のブレーキ機構として、従来から広く用いられている車輪踏面ブレーキ（図2）やディスクブレーキ（図3）などのいわゆる摩擦ブレーキはもちろんのこと、発電ブレーキもすべて粘着ブレーキである。これに対して、レールと台車または車体間に直接ブレーキ力を作用させるレールブレーキは非粘着ブレーキである。

以上のように鉄道車両のブレーキは多種にわたっており、また車種によっても方式が異なるので、誌面の都合上、この稿では空気ブレーキ一般について述べたあと、最近とくに発達した著しい電車の空気ブレーキについて述べることにする。

4. 空気ブレーキ一般

空気ブレーキを制御するには、大別して空気管

図 1 鉄道車両のブレーキ方式

W: 軸重
P: 制輪子押付け力
 F_b : 摩擦ブレーキ力
 F_a : F_b に対する反力
 $F_a = F_b$

図 2 車輪踏面ブレーキ

P: 制輪子押付け力 F_b : 摩擦ブレーキ力
 F_a : F_b に対する反力

$$F_a = F_b \times \frac{R_1}{R_2}$$

図 3 ディスクブレーキ（車輪ディスク式）

圧力制御方式と電気指令方式があり、さらに前者には直通管圧力制御方式とブレーキ管圧力制御方式がある。

直通管圧力制御は直通管を車両に引きとおし、常時はこれを無圧に保ち、ブレーキ時には適宜直通管の圧力を上昇させてブレーキシリンダ圧力を制御する。ブレーキ管圧力制御はブレーキ管を車両に引きとおし、常時はこれを一定圧力（一般には 5 kgf/cm^2 ）に保ち、ブレーキ時には適宜ブレーキ管の圧力を減圧させてブレーキシリンダ圧力を制御する。

4.1 直通空気ブレーキ 主として単車運転をする車両向きの最も簡単なブレーキ装置で、小刻みなブレーキのかけゆるめができ、また繰返しブレーキ性能に富む特徴がある。反面、2両以上連結して使用する場合、列車分離時にノンブレーキとなる大きな欠点がある。図4にその簡略図を示す。

4.2 自動空気ブレーキ 直通空気ブレーキの欠点を解消し、かつ、長連結列車運転を目的として考えられたブレーキ装置で、ブレーキ管の減圧制御によって制御弁を作動させ、あらかじめ空気だめに蓄えておいた圧力空気をブレーキシリンダに送る方式である。このブレーキ装置自体、列車分離時に自動的に働くシステムであるため、主要およびバックアップ的な使用を含め、現在、あら

ゆる車種に最も多く用いられている信頼度の高いブレーキである。図5にその簡略図を示す。

また、このブレーキ装置の性能を大きく支配する制御弁は、古くから補助空気だめとブレーキ管の圧力差によってブレーキシリンダ圧力を制御する、いわゆる二圧力式（図6）を用いていたが、近時、定圧空気だめ、ブレーキ管およびブレーキシリンダの三つの圧力のつりあい作用によって作動する三圧力式（図7）がしだいに多く用いられるようになってきた。

4.3 電磁自動空気ブレーキ 純粋な自動空気ブレーキは、前頭車のブレーキ弁によりブレーキ管の減圧または増圧制御をするので、列車の前部から順次ブレーキがかかり、また、ゆるめが行われ、一般に同期性に欠ける欠点がある。電磁自動空気ブレーキは、各車に電磁弁を設け、ブレーキ弁の操作と同時にこれを作動させてブレーキおよびゆるめの同期性をはかったものである。

4.4 電磁直通空気ブレーキ 直通空気ブレーキの特長を生かし長編成列車用として使用するため、各車に設けた電磁弁のいっせい制御により直通管の圧力制御をするブレーキ装置で、応答性および制御性がよい。しかし、このブレーキ自体はフェイルアウトのブレーキなので、自動空気ブレーキや常時加圧の緊急電磁弁回路を併用して列車分離時などに備える必要がある。

図4 直通空気ブレーキの簡略つなぎ

図5 自動空気ブレーキの簡略つなぎ

図6 二圧力式制御弁の作用原理

図7 三圧力式制御弁の作用原理

4・5 電気指令式空気ブレーキ 前頭車からのブレーキ指令をすべて電氣的に行い、各車で電気指令を空気圧力に変換する空気ブレーキで、システムとしては最新の部類に属する。応答性、制御性および電気ブレーキとの協調性にすぐれた特長がある。

5. 電車の空気ブレーキ

現在、電車用ブレーキとしては、電気ブレーキ併用の電磁直通空気ブレーキが主流を占めているが、最近では電気指令式空気ブレーキがしだいに多く用いられるようになってきた。電磁自動空気ブレーキは一部旧形電車に名ごりをとどめているにすぎない。

5・1 電気ブレーキ併用电磁直通空気ブレーキ

前頭車運転台のブレーキ弁を操作することによ

図8 電磁直通制御器

図9 電磁直通空気ブレーキ

り、列車中の電動車には電気ブレーキ指令がだされ、同時に前頭車の電磁直通制御器(図8)には空気圧指令がだされる。

(1) 電磁直通空気ブレーキの制御 図9に示すブレーキにおいて、ブレーキ弁からの指令空気圧が、一種の空気圧スイッチである電磁直通制御器の左側膜板室にはいると、まずゆるめ接点Rが閉じ回路が構成されるので、各車のゆるめ電磁弁が励磁されて直通管と大気との連絡を断つ。ついでブレーキ接点Bが構成されると各車のブレーキ電磁弁が励磁され、元空気だめ管からの圧力空気が直通管に流入する。直通管の圧力空気は電磁直通制御器の右側膜板室にフィードバックされ、その圧力がブレーキ弁からの指令圧力に見合った圧力に達すると、膜板はばねにより左側に押しもどされ、接点Bのみ開き、接点Rは閉じたままとなる。このため、各車ではブレーキ電磁弁のみ消磁し元空気だめ管からの圧力空気の流入は止まり、そのときの圧力を保持する。直通管の圧力は中継弁に指令圧力となってはいり、この弁の作用により直通管と同圧の空気をブレーキシリンダに送りブレーキがかかる。

(2) 空気ブレーキと電気ブレーキの相互関係

ブレーキ弁からの指令を受けると、電動車では電気ブレーキ回路が構成されるが、ブレーキ力の加減は直通管圧力で作動する気圧抵抗器によって行われる(図10)。また、空気ブレーキと電気ブレーキが重なってブレーキ力が過大になるのを防止するため、電気ブレーキが立ち上がると締切電磁弁が励磁し、抑圧弁との連動作用によりブレーキシリンダの圧力をごく低圧に抑制する。しかし、

直通管圧力がある値で電気ブレーキ力が飽和すると、飽和時点から抑圧値は増大し、指令に対するブレーキ力の不足分を空気ブレーキで補足する。ブレーキ弁は、一般にハンドル角度に比例した直通管圧

図10 空気ブレーキと電気ブレーキの連動

力を発生するので、ハンドル角度とブレーキシリンダ圧力との関係は図 11 のようになる。

5・2 電気指令式空気ブレーキ このものは大別して連続制御式と段制御式の二方式があり、電車では一般に電気ブレーキを併用している。

図 11 ブレーキ弁ハンドル角度とブレーキ圧力との関係

図 12 電気指令式空気ブレーキ制御系統（連続制御式）

図 13 電空変換弁

(1) 連続制御式 前頭車からのブレーキ指令に電氣的アナログ量（主として電圧）を用いる方式である。編成各車ではブレーキ指令を指令受信器で受け、これに応荷重要素を加味して変換し、電気ブレーキおよび空気ブレーキへの指令として与える。図 12 において電空変換増幅器は指令受信器からの指令を受けるとともに、電気ブレーキ側からのフィードバック量を受け、増幅器内に含まれている比較器により、〔空気ブレーキ＝指令値－電気ブレーキ〕の演算をし電空変換弁に指令電流を与える。電空変換弁は指令電流に見合った制御空気圧を発生し、複式逆止め弁を経て中継弁に指令と同一圧の空気をブレーキシリンダに送る。

図 13 は電空変換弁の構造の一例を示したもので、増幅器の出力電流が変換弁の電磁コイルに流れると電磁力を発生し、供給弁を押し開いて制御空気圧を中継弁に送る仕組みとなっている。

(2) 段制御式 前頭車から、列車に引きとおしている複数本の常用ブレーキ指令電線と非常ブ

図 14 電気指令式空気ブレーキ作用原理（段制御式）

図 15 ハンドル位置と出力圧の関係

ブレーキ指令電線の ON・OFF 制御を行って、ブレーキシリンダの多段制御を行う方式である。図 14 は作用原理（ゆるめ位置）を示したもので、非常ブレーキ指令線のみ常時加圧としており、常用ブレーキは 3 本の指令線（SB1～SB3）の組合せ加圧により、常用 7 段階のブレーキシリンダ圧力制御を行うものの例である。常用指令線の ON・OFF により、切換電磁弁（SBV1～SBV3）は励消磁して多段式中継弁の膜板面積比を変え、出力圧力を制御する仕組となっている。膜板面積比は上から順に 9 : 7 : 6 : 4 となっている。したがって、例えば指令線 SB2 のみ加圧されて電磁弁 SBV2 が励磁された場合は、多段式中継弁の C 室のみに応荷重弁からの指令空気圧 P がはいり、結局上向きの力は $(6-4) \times P$ となる。この力は供給弁を押し上げるが、これによりブレーキシリンダ側に流入する空気の一部は最上段の膜板上部に加圧、この圧力が $2P/9$ となったとき中継弁は重なり位置をとる。3 個の常用切換電磁弁の ON・OFF 組合せは 7 組あるので、全部で 7 段階の常

用ブレーキ圧力制御ができることとなり、図 15 にこれを示す。

6. む す び

以上、最近の電車を主体に、鉄道車両用空気ブレーキの制御や機器について的一端を述べた。冒頭に述べたように、鉄道車両には車種が多く、ブレーキシシステムも多岐にわたっており、また、使用している機器や弁類も種類が多い。しかし、鉄道車両用ブレーキも一種の遠隔操作技術の集積であることからみて、鉄道車両独自の保安的な考え方を基礎に、空油圧技術や電子技術の進歩に合わせ、今後も発展していくものと考えられる。

（原稿受付 昭和 56 年 5 月 7 日）

参 考 文 献

- (a) 近藤, 機械設計, 21-10 (昭 52-9), 33.
- (b) 近藤, 油空圧化設計, 18-13 (昭 55-12), 133.
- (c) 電気鉄道要覧, (昭 48), 315, 454, 鉄道電化協会.
- (d) 機械図集 ブレーキ, (昭 51), 74, 日本機械学会.
- (e) 電気学会通信教育会, 電気鉄道, (昭 51), 119, 電気学会.

文部省科学研究費補助金交付先決定（その 3）

(1303 ページより)

〔一般研究 C〕

▽腐食環境下のき裂発生とその成長機構（東大 高野太刀雄）60, ▽初期疲労き裂の発生、進展、開閉口挙動（阪大 菊川 眞）80, ▽難加工性材料の加工（奈良工高専 関口秀夫）70, ▽弾性破壊力学（東北大 渥美 光）70, ▽衝撃疲労（金沢大 茶谷明義）30, ▽機械構造と組織の強度的最適化（金沢大 尾田十八）60, ▽曲り棒と一般軸対称殻の飛移り座屈問題（阪大 浜田 実）60, ▽クラッド材の疲労き裂伝播挙動（阪大 小倉敬二）80, ▽疲労クリープ相互作用条件下のき裂伝ば（阪大 小寺沢良一）80, ▽ボールエンドミルの切刃形状と切削機構（北大 岸浪達史）60, ▽精密機械構造体変形（東工大 塚田忠夫）90, ▽工具損傷のインプロセス検出法と予知法（京大 垣野義昭）110, プレスせん断時の騒音低減効果（京工繊大 福田正成）70, ▽難削材料の加工法（広島大 鳴滝則彦）90, ▽多自由度機構のシンセシスと最適制御（東工大 下嶋 浩）80, ▽歯車の歯当りの測定（電通大 石川二郎）67, ▽かさ歯車の曲げ疲労強度（鳥取大 小田哲）60, ▽歯車工作精度と負荷能力の向上（佐賀大 石橋 彰）40, ▽曲り管の入口助走区間（東北大 伊藤英寛）70, ▽油圧装置の振動騒音（京大 小西忠孝）70, ▽固気二相流におけるプラグの形成とその流動機構（阪大 森川敬信）70, ▽液体の熱物性値測定法（横浜国大 飯田嘉宏）50, ▽乱流燃焼における反応速度（豊橋技科大 小沼義昭）30, ▽ディーゼル噴射弁による間欠燃料噴霧（九大 村上昭年）60, ▽あいまい論理による故障診断システム（東工大 寺野寿郎）80, ▽多関節ロボットに対する計算機援用教示（東工大 吉川恒夫）70, ▽スキル・ノイズの発生機構とその防

止法（東工大 中井幹雄）80, ▽フレキシブルスクリュコンベヤの振動（九工大 井上順吉）60, ▽オーステナイト系不銹鋼の低温の疲労破壊靱性（東北大 沢木洋三）140, ▽TiC 基サーメットの被研削性（東大 林 宏爾）110, ▽経済的な 5.5% Ni 鋼製造（東大 長井 寿）160, ▽フェライト系耐熱鋼の機械的性質向上（東大 朝倉健太郎）160, ▽疲労き裂の発生過程と疲労破壊の信頼性工学（電通大 市川昌弘）180, ▽平価ひずみ疲労破壊じん性の評価（横浜国大 安藤柱）120, ▽高温用軸受鋼の耐久性向上（長岡技科大 上野 学）170, ▽フロッキュレーションの超音波を用いた予防（阪大 堀川 明）140, ▽繰返し大変形下でのき裂挙動と構造物の破壊防止（慶大 清水眞佐男）180, ▽耐熱合金のクリープでの疲労と切欠きと負荷波形効果（立命大 大南正瑛）140, ▽心筋の収縮機構解明の材料力学（東北大 阿部博之）60, ▽複合材料の破壊とはく離力学（東北大 関根英樹）100, ▽円形き裂だ円体状欠陥を含む弾性体の熱応力（埼玉大 土田栄一郎）180, ▽弾性追従の評価法と高温構造物の設計法（千葉大 鶴戸口英善）160, ▽三次元き裂の J 積分評価（東大 三好俊郎）170, ▽構造物の固有値問題の数値解法（東大 菊地文雄）140, ▽弾塑性破壊抵抗 J-デルタ α 曲線の評価（東工大 小林英男）180, ▽表面き裂からの延性破壊挙動（東工大 青木 繁）180, ▽衝撃荷重システム（東工大 渋谷寿一）150, ▽疲労き裂の伝播（横浜国大 白鳥正樹）140, ▽焼入性の判定および硬さ測定と自動化システム（長岡技科大 栗田政則）160, ▽疲労微視き裂の伝播（横浜国大 白鳥正樹）140, ▽焼入性の判定および硬さ測定と自動化システム（長岡技科大 栗田政則）160,

(1322 ページへつづく) 〔服部 敏夫〕