

電気式戸閉装置の開発

Development of door operating equipment by electric cylinder

A door operating equipment is a machine for opening and closing a passenger door of a vehicle, and is used in combination with an associated control device.

We present an electric door operating equipment which has been developed on the basis of the rich experience in pneumatic door operating equipment fostered by Toyo Electric MFG. Co., Ltd.

長島 悦也
Etsuya Nagashima

立花 宣高
Noritaka Tachibana

本多 直樹
Naoki Honda

上原 秀和
Hidekazu Uehara

安部 諒佑
Ryosuke Abe

登山 昭彦
Akihiko Toyama

1. まえがき

昭和初期から近年に至るまで、鉄道車両の乗降扉には空気式戸閉装置が採用されてきた。

空気式戸閉装置は、圧縮空気をシリンダ内に給気してその圧力でピストンを押し、ピストン軸に連結された扉の開閉動作および扉を閉め状態に保持する戸閉力を作用させる働きをする。

扉の開指令を電磁弁に入力して、給気経路を切り換えるだけで扉を開閉動作できるため、構造が単純で確実に動作し、故障が少ないという利点があり、これまで多くの車両で使用されてきた。

これに対して最近首都圏を中心に採用が増えている電気式戸閉装置は、モータの動力により扉を動作させるため、モータに供給する電力をマイコンによりきめ細かく制御することが可能で、さらに戸挟み検知等の安全機能を制御装置内のプログラムで追加することができるという利点を持っている。

安全機能の追加については鉄道会社各位のご関心が高く、電気式戸閉装置が採用される大きな理由になっている。

しかし一般的な電気式戸閉装置は、解錠機構の構造や閉扉時に戸先ゴム先端部に隙間ができるなど、改良が求められる要素も残っていた。

こうした課題も含め、当社の長年にわたる空気式戸閉装置の設計・製作の経験を生かし、従来のスペース(当社の空気式戸閉装置Y2, Y4形など)にも搭載可能な電気式戸閉装置を実用化したので、これを解説する。

2. 電気式戸閉装置の特長

2.1 構造

新造車両をはじめ、更新車両にもご採用いただけることを目的に、当社の空気式戸閉装置との取り付け互換性を考慮した構造になっている。

図1に電気式戸閉装置の外観と部品名称、表1に概略仕様、図2にその構造図、図3に比較のために空気式戸閉装置の構造図を示す。

電気式戸閉装置の駆動機構部には電動シリンダを採用している。電動シリンダは、モータの動力によりピストン軸を出し入れするもので、外観は空気式戸閉装置の空気シリンダとよく似ていて防塵性に優れている。

構造はシリンダ右端に取り付けたモータ軸から継手を介して接続した、シリンダ内のピストン軸に挿入されたボールねじを回転させる。

ピストン軸の右端には、ボールねじに組み込まれたボールナットが固定されている。

モータの動力によりボールねじが回転すると、ボールねじとボールナットの組み合わせにより、ねじの回転運動がナットの水平運動に変換され、ピストン軸を往復運動させる。

またボールねじは、ねじとナットがボールを介して接触するため、摺動抵抗が極めて小さく、ピストン軸を手で押し引きすることで、モータ軸を回転させることもできる。

したがって空気式戸閉装置と同様に、非常ドアロックが操作(電磁ブレーキが解放)された条件では、ピストン軸に接続された扉を手動で開閉することが可能になる。

空気式戸閉装置は、扉を閉めた状態では圧縮空気が閉め側シリンダ内に給気され続け、その圧力により常に戸閉力が保持されるが、電気式戸閉装置は車両走行中には電動シリンダのモータへの電力を省エネルギーも兼ねて遮断するため、モータから戸閉力が発生しない。

そこで、モータに隣接して電磁式機械ブレーキを設置して、電磁ブレーキに電力が供給されない条件ではモータ軸を回転しないようにロックする機械的鎖錠装置を構成した。

モータ軸とブレーキディスクは、ワンウェイクラッチ(電磁ブレーキが作用しても閉方向のみ回転する軸受)を介して接続されるため、鎖錠時でも扉を手で閉めることのみできる。

当社の鎖錠装置は、一般的な扉上部中央にクサビを挿入する方式(クサビ穴との隙間の必要から扉が閉まった状態で戸先ゴム先端部に隙間が生じる)とは異なり、電磁ブレーキを採用したことにより、任意の位置で鎖錠することが可能であり、扉は閉まった状態で戸先ゴム先端部に隙間ができない特長がある。

また、前記の電磁式機械ブレーキを緩めるために空気解錠シリンダを設置することで、空気式戸閉装置と同様の取り扱いによる扉手動操作が可能になっている。

両開き扉において、左右に扉を引き分ける機構は空気式戸閉装置で実績のあるベルトプーリー式をそのまま使用した構造である。

空気式戸閉装置用との部品の共通化や保守取り扱い方法の共通化といった利点がある。

制御装置は、戸閉装置の電動シリンダ上方に設置できるような横長の構造とし、戸閉装置と一体構造にしている。

1扉を単独で開閉操作することができる開閉試験用のトグルスイッチも設置している。

2.2 片開き扉にも対応可能

電動シリンダ方式を採用しているため、特急形車両やグリーン車に使用されている片開き扉にも引き分け機構を除外することで対応可能である。

2.3 モータにブラシレス直流電動機を採用

駆動用モータは、三相PWMインバータで制御するブラシレス直流電動機(三相永久磁石同期電動機)を採用し、ブラシなどの保守を不要としている。

2.4 32Bitマイクロコンピュータを採用した制御装置

モータの速度、トルク、およびシーケンス制御にマイクロコンピュータを採用し、きめ細かな扉の開閉制御を可能とした。また戸閉時間、戸挟み、戸閉力弱め、戸袋引き込みなどお客さまにより変わる/変える制御定数についてはパラメータとし、パソコンを接続することで変更可能としている。さらに不具合情報なども発生日時とともに記録する。

2.5 空気式戸閉装置と同じ電源仕様、戸閉力

空気式戸閉装置との取り扱いの共通化や、空気式戸閉装置の車両と電気式戸閉装置の車両との併結運用を考慮して、各仕様を可能な限り空気式戸閉装置と同じにしている。

仕様の比較を表2に示す。

■ 表2 仕様の比較
Table2 Specification by comparison

項目	電気式戸閉装置	空気式戸閉装置
扉最大開閉行程	650×2=1300mm	←
ピストンストローク	最大 665mm	←
駆動方式	電動シリンダ (ボールねじ駆動)	電磁空気式 (複動式シリンダ)
鎖錠方式	電磁ブレーキ (無加圧時鎖錠)	なし (空気圧による戸閉力保持)
両開き機構	ベルトプーリー式	←
開閉時間	開き	2.5±0.5秒 (変更可能)
	閉じ	3.0±0.5秒 (変更可能)
戸閉閉力	戸開力	560N (変更可能)
	戸閉力	560N (変更可能)
戸挟み時の制御動作	開動作中	戸挟み検知し、戸閉力ゼロと強の繰返し
	全閉後	戸閉力弱め動作 (規定時間以内)
	開動作中	戸袋挟み検知し、戸閉力ゼロと強の繰返し
手動開扉 (空気解錠式)	非常ドアロックによる空気解放	←
操作回路電圧仕様	DC60~110V	←
列車モニタ対応	RS485 によるシリアル伝送 又は接点出力	接点出力 (戸閉スイッチ)
保守内容	シリンダ	16年毎に分解清掃
	グリース アップ	4年毎に給脂穴よりボール ねじに給脂を行う
		8年毎に解錠シリンダ交換
		8年毎に分解清掃
		4年毎にパッキンブタグリ ースニップルより給脂を行 なう

2.6 非常時の解錠は空気解錠方式を採用

電気式戸閉装置は、扉を手動で開く際の解錠操作にはワイヤーケーブル使用が一般的である。車外手動解錠装置と戸閉装置に設置されたブレーキ装置の解錠レバーをワイヤーケーブルで接続して、車外手動解錠装置からワイヤーを引くことで操作する。

このため、構造上1箇所の車外手動解錠装置からは隣接する2箇所の戸閉装置にしかワイヤーケーブルを接続することができず、1車両片側4扉車の場合、車外手動解錠装置を片側

あたり2箇所設置する必要がある。さらに車内でのドア一斉解錠には蓄電池電源が必要になる。

今回紹介する電気式戸閉装置は、非常時開放に空気配管を使い、非常ドアコックを開閉することで空気式戸閉装置と全く同じ操作を可能としている。強制解錠は保安上の理由もあり、取り扱いを大きく変えたくないのご要望に対応できる。

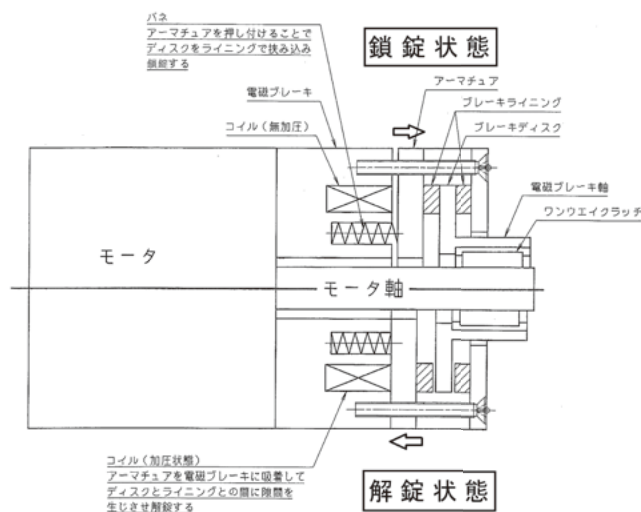
なお、空気配管を止めたいご要望もあると考え、解錠装置はワイヤーケーブルによる解錠方式にも対応可能である。

2.7 全閉時の扉先ゴムの隙間がない

従来の電気式戸閉装置は、鎖錠装置が扉上部中央にクサビを挿入する方式であり、クサビ用の穴とクサビとの間に余裕代の隙間が必要であった。

この隙間が扉の閉まった状態でのガタ分となり、扉が閉まった状態で戸先ゴム先端部に隙間が生じていた。

今回の電気式戸閉装置は電磁ブレーキを採用したことにより、扉が完全に閉まった位置で鎖錠することが可能となり、さらにワンウェイクラッチの採用により鎖錠後も扉が閉め方向に動くことが可能なため、扉が閉まった状態では扉の戸先ゴム先端部に隙間ができない。その構造を図4に示す。



■ 図4 電磁ブレーキによる鎖錠装置
Fig.4 Electro-magnetic brake locking unit

2.8 安全機能を装備

車両走行中に扉が開くことがないように、5km/h信号(走行状態を示す信号)がある場合は、開許可信号の受付禁止回路を構成するとともに、鎖錠装置が作用する。

車両走行中に手動操作コックが操作された場合、空気式戸閉装置の扉は開いてしまうが、電気式戸閉装置は、走行中に手動解錠装置が操作されても扉の開き状態を常時監視していて、扉が一定以上開いた場合には全閉動作を自動的に行わせるため、安全が確保される。

扉閉操作には次の2種類の安全機能を装備している。

(1) 戸挟み検知機能

扉閉動作中(扉が完全閉までの間)は、扉間に人または物が挟まると戸挟みを検知して、一定時間の間、戸閉力をゼロにして戸挟み状態からの解消を促す。

その後通常戸閉力に戻し、さらに一定時間経ても戸挟み状態が解消されない場合には、再度一定時間戸閉力をゼロにする。この操作を戸挟みが解消するまで繰り返す。

なお従来どおり、再開閉動作も使用可能である。

(2) 戸閉力弱め機能

戸閉動作が完了し、戸閉スイッチが閉位置を検知した時(知らせ灯点灯、車側灯消灯)から一定時間戸閉力を弱める。この戸閉力弱めは、扉間に人または物が挟まっている/いないにかかわらず戸閉めスイッチが閉扉検知すると一定時間、戸閉力が弱まる。

戸閉スイッチで戸挟みが検知できない程の薄い物が挟まれた場合でも抜き出しやすくなり、安全性が向上することができる。

扉閉操作においては次の安全機能を装備している。

(1) 戸袋引き込み検知機能

扉の開動作中(扉が完全開までの間)に戸袋に手または物が挟まると、戸袋引き込みを検知して、一定時間戸閉力をゼロにして戸袋引き込み状態の解消を促す。

その後通常戸開力に戻し、さらに一定時間経ても戸袋引き込み状態が解消されない場合には、再度一定時間戸開力をゼロにする。この操作を戸袋引き込みが解消するまで繰り返す方法と、戸袋に挟まれるのは大きな障害と考えて、検知/動作回数を制限して一旦扉の開の動きを止める方法もある。

これらの安全機能の時間や繰り返し回数については、ご要望の仕様に対応可能である。

2.9 省メンテナンス性

空気式戸閉装置は、構造上、圧縮空気をシールするパッキン類を多数使用している。これらのパッキン類は定期的に変換する必要があった。

電気式戸閉装置は扉の開閉動作に圧縮空気を使用しないため、パッキン類の定期交換が必要な保守部品が必要なく(空気解錠シリンダ部を除く)、補修作業を大幅に軽減することができる。定期的な保守はボールねじへのグリース給脂のみである。

ただし空気解錠シリンダについては、定期的な交換または所定の保守が必要であるが、動作回数が少ないため、グリースの給脂程度である。

3. 現車への適用

数次にわたる試作と社内試験を経て、南海電気鉄道株式会社のご理解・ご協力により、6200系電車4両編成のうちの2両16扉について、当社製空気式戸閉装置を電気式戸閉装置に置き換えの供試により、2017年4月から営業運転している。置き換えは、車体側の改造はせずに搭載することができた。空気式戸閉装置で使用していた空気配管を非常時開放用を使用している。編成内に空気式戸閉装置と共存しているが、通常動作や非常時の取り扱いは変わらない。

電気式戸閉装置の安全機能については、実際に動作させて状態を確認し、適切な時間および繰り返し回数などを設定した。また制御装置の改善を加えることができた。



■ 図5 南海電気鉄道6200系電車
Fig.5 Series 6200 train for Nankai Electric Railway Co., Ltd.

4. むすび

当社の電気式戸閉装置は、1980年より前に試作第1号の社内試験をした実績があった。その後1994～95年の試作機を経て、最新の仕様により製品化することができた。

今後は、安全性能と保守性に優れた電気式戸閉装置の普及に努めていきたい。

最後に、本装置の開発にあたりご協力いただいた関係会社、現車への適用の場を設けていただいた南海電気鉄道株式会社に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1]長島：「最近の当社のドアエンジン技術について」東洋電機技報122号，2010年9月，pp.18-21
- [2]長島：「電気式ドアエンジンのご紹介」R&m第24巻第11号（通巻794号），2016年11月，pp.10-31

執筆者略歴



長島 悦也

1983年入社。現在、交通事業部板橋分工場技術開発部に所属し主に戸閉装置の開発・設計に従事。



立花 宣高

2007年入社。現在、交通事業部板橋分工場技術開発部に所属し主に戸閉装置の開発・設計に従事。



本多 直樹

1992年入社。現在、交通事業部交通工場設計部に所属し主に車両用機器の開発・設計に従事。



上原 秀和

1993年入社。交通事業部交通工場設計部において電子回路の開発・設計に従事。現在、交通事業部交通事業企画部に所属。



安部 諒佑

2010年入社。現在、交通事業部交通工場設計部に所属し主にプログラムの開発・設計に従事。



登山 昭彦

1983年入社。現在、交通事業部交通技術部に所属し主に車両システムの技術とりまとめに従事。