

2409 引きずり事故防止機能強化型・戸挟み検知装置の開発

○村木 克行 和田 智樹 (東日本旅客鉄道株式会社)

Development of the high-precision sensing device to detect lying things pinched between the doors for prevention of dragging of passenger

Katsuyuki MURAKI, Tomoki WADA (East Japan Railway Company)

Some safety devices to detect lying things pinched between the doors are generally equipped on the railway vehicles such as commuter train. They prevent the train from running in the situation the pinching is occurring. But conventional devices with mechanical switch (door close switch) can't detect some thin objects such as clothes, therefore some dangerous accidents that passengers are dragged by the train may occur. Then, the authors studied new type high-precision sensing device with pressure tube installed into head of the door to prevent dangerous accidents.

Keywords: pinching between doors, dragging of passenger, door close switch, door stop rubber, silicon differential pressure sensor

1. はじめに

駅のホーム上で列車のドアが閉じる際にお客さまを挟み込む、いわゆる「戸挟み」は、そのまま列車が走行を開始するとお客さまを引きずる重大事故にもつながることから、「戸挟み」「引きずり」の回避は、安全上の大きな課題である。

2. 通勤電車のドアの機構と旅客の戸挟み

2.1 ドアの機構と戸挟み検知

通勤用電車のドアの開閉機構と戸挟み検知のしくみの変遷を図1に示す。ドア本体の駆動は、旧来の車両では空気シリンダによる駆動であったが、近年の車両では電気モータとボールねじなどを組み合わせた駆動方式(以下、電気式ドア)を採用している鉄道会社もある。

一方、ドアにものが挟まったことを検知する機構は、ドアに取付られた押し棒により機械的なりミットスイッチ(これを、戸閉スイッチと称する)を動作させる方式であり、現在に至るまで基本的には変化していない。また、近年の電気式ドアを搭載した車両等では、ドアが閉じる過程でモータの速度低下を検出した場合、物が挟まり掛けたと判断し、一時的に駆動トルクを絞ることで介在物を抜け易くする制御を行っているものも見られる。



Fig1. Transition of door engine and door-catch-switch (JR-East)

2.2 戸挟みにおける課題

実際のホーム上での旅客や荷物等がドアに挟まれる際の状況を図2に示す。これらは以下の3つに大別できる。

- A. 駆け込み乗車等による戸挟み(旅客はホーム上)
- B. 降車時の戸挟み(同上)
- C. 混雑時の戸挟み(旅客は車両内)

介在物が旅客の身体やカバンのような一定以上の厚み(概ね20mm程度以上)のあるものの場合、前述の検知機構(戸閉スイッチ)がこれを検知し、検知している間は列車が走行開始出来ないしくみで安全を担保している。

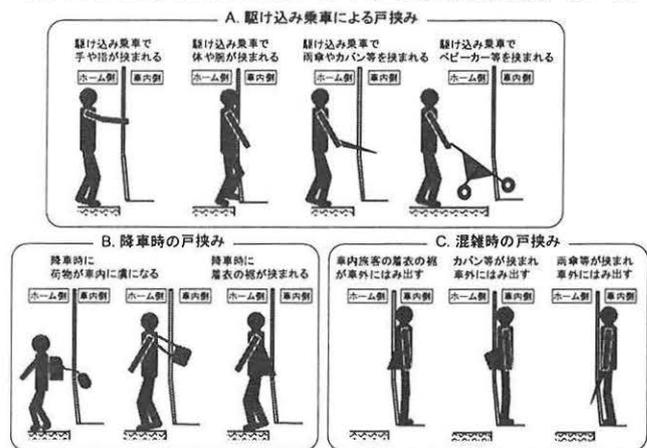


Fig2. Patterns of the pinching between doors

しかしながら、手のひらなど、介在物が薄い場合には従来の検知機構では検知が出来ない場合もある。以下、戸閉スイッチでは検知が出来ない薄い介在物のみを考える。AとBのケースでは旅客がホーム上に存在する状態で身体や荷物等が挟まれるため、万一、車掌や駅の係員が事象に気づかぬまま列車が走行を開始すると、そのまま列車に引きずられる(以下、引きずり事故)おそれがあり、重大な結果をまねくことになる。

中でも危険なケースを図3に示す。図は、旅客(小学生)が下車してホームに降り立った直後に列車のドアが閉まり、ランドセルにヒモで提げられた体操着の袋だけが車内にとり残されてしまった状況を示している。ドアに挟まれているのは細いヒモであることから検知は困難

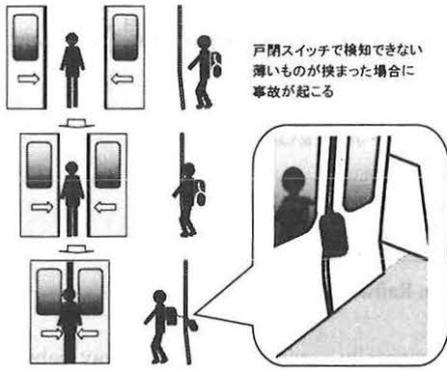


Fig3. Example of dangerous cases

であり、その上、ヒモの先端に袋が付いているため、どんなに強く引いても引き抜くことは不可能である。このような事象が発生した場合、これを検知し列車の走行を抑制しなければならない。

一方、Cの混雑時の戸挟みは、特に冬の着膨れの時期等に見受けられるが、介在物が大きく車外にはみ出していない限り安全上の問題はないと見なして、多くの場合、列車はそのまま走行しているのが実態である。仮に、介在物が完全になくなるまで列車を走行させないこととした場合、混雑時に列車遅延が多発することが懸念される。

従って、旅客の安全を確保すること（A, Bへの対処）と、列車の安定な運行を維持すること（Cへの対処）の2つの問題に的確に対処し、安全と安定輸送の両立を図ることが、通勤電車の「戸挟み」における課題と言える。

3. 新たな戸挟み検知方法の考案

3.1 従来の方式の問題点

次に、これまでの鉄道車両における戸閉スイッチによる戸挟み検知の問題点を図4に示す。同方式には、構造上、不感帯を生じる要素が2つ含まれており、検知感度（どの程度の厚みの介在物まで検知出来るか）の向上を妨げている。1つは、介在物により、ドア先端部に設けられた緩衝ゴム（戸先ゴムと称する）が変形する（潰れる）ことで生じる検知の不感帯、もう1つは、戸閉スイッチの接点の押付ばねの撓み代（ワイブ）により生じる不感帯である。両者を合わせると不感帯は15mm程度に及ぶことになり、手のひら程度の厚みではドアに挟まっても、これを検知することは困難である。

また、前述の電気式ドア車両における介在物を抜け易くする制御は、駆け込み乗車などの際に効果を発揮しているが、ドアが閉じ終えた状態で挟まれたままになっている薄い介在物を検知することは出来ない。

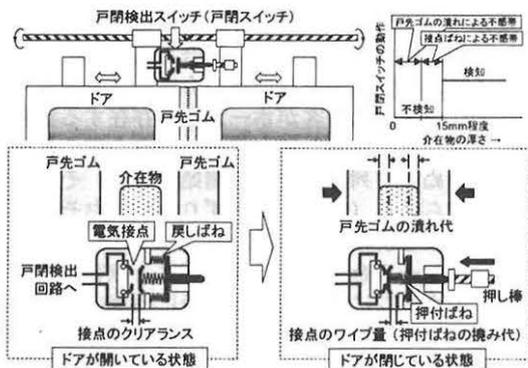


Fig4. Detection with door-close-switch

3.2 戸先ゴムの内圧変化による戸挟み検知

筆者らは、ドアに異物が挟まったことを検知する装置をこれまでも研究してきており、戸先ゴムに内蔵した圧力検知管の内圧変化により戸挟みを検出する、従来とは全く異なる原理（以下、検知管式）を考案した（図5）。

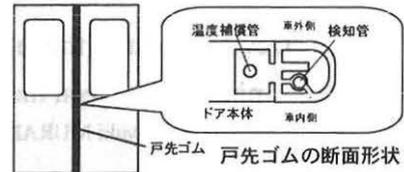


Fig5. Principle of detection with pressure tube

検知管式による戸挟み検知の流れを図6に示す。ドアが閉じた際にもものが挟まると、戸先ゴム全体が介在物の厚みにより潰れると同時に内部の圧力チューブ（検知管）も潰れて容積が縮まる。このとき検知管は密閉されているため容積が縮まった分、内圧が上昇する。これを検知管の末端に接続された半導体微差圧センサにより検出することで戸挟みを検知することが出来る。温度補償管は周囲温度の変化に伴う検知管の内圧変化の影響をキャンセルするためのもので、検知管と温度補償管のそれぞれの内圧の差の変化で戸挟みを判定するようにしている。以下、検知管内蔵の戸先ゴムを戸先ゴムセンサと称する。

以前の研究では、幅100mmの平板で厚さ5~6mm程度まで、丸棒で径15mm程度までの検知が可能であることが確認されている。

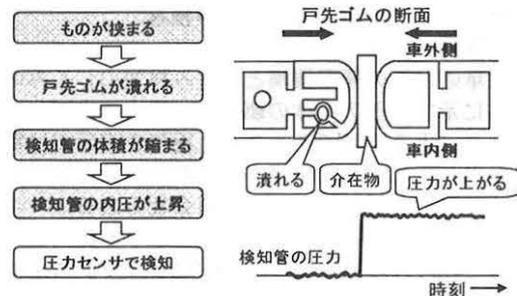


Fig6. Procedure of detection with pressure tube

3.3 戸先ゴムセンサの改良

以前の研究では左右片側のドアの戸先ゴム内部に配置をしていた検知管を、両側ドアの戸先先端部（左右のドアが接触し合う位置）に配置し、検知管が介在物と直接接触し変形量がより大きくなるようにすることで、検知感度の向上を試みた（図7）。検知感度の比較結果を表1に示す。表は、幅90mm、厚さ2.5mmの平板状の試験片を挟む試験を繰り返し行った際の安定検知の回数の割合を示したものである。検知管が内部に配置されたタイプではほとんど検知出来なかったものが、先端部に配置することで検知可能になったことが分かる。尚、表中の検知感度の設定値については後述するが、数値が小さい方（この場合29[Pa]）が検知感度が高い状態を意味する。



Fig7. Relocation of pressure tube for improvement of sensitivity

Table1. Comparison of sensitivity
(Flat plate 90mm width 2.5mm thickness)

戸先ゴム	試験片挿入高さ(床面から) [mm]	戸閉SW転換状況	試験回数	検知率 [%] (安定検知の回数の割合)				
				検知感度の設定値 [Pa]				
				29	58	87	116	145
既開発品	300	転換	10	0	0	0	0	0
	600	転換	10	10	0	0	0	
	900	転換	10	0	0	0	0	
改良案①	1200	転換	10	10	0	0	0	
	300	転換	10	100	100	100	80	20
	600	転換	10	100	100	100	100	100
改良案②	900	転換	10	100	100	100	100	100
	1200	転換	10	100	100	100	100	100
	300	転換	100	100	99	81	67	57
改良案②	600	転換	100	97	78	60	52	47
	900	転換	100	90	71	55	47	33
	1200	転換	100	69	49	34	19	11

一方、改良品は、検知管が確実に潰れるよう戸先ゴム先端部を硬くしたため、介在物の引き抜きに要する力が従来の戸先ゴムに比べて大きくなってしまい、安全上の観点から、そのままでは実用にならないことが分かった。

4. 引きずり事故防止のための戸挟み検知装置の開発

4.1 解決すべき課題

前述の検知管式の原理を応用して、引きずり事故防止のための「戸挟み検知装置」を開発することとした。特に図2-Bに示す降車時に発生する戸挟みでは、カバンの肩ひもやコートの裾といった、より薄い介在物による事象が多いと考えられることから、事故防止のためには、それらへの対応が重要となる。一方、安全上問題の少ない図2-Cのような事象では列車の運行を阻害することがないよう検知の際にこれを区別する必要がある。

解決すべき課題は以下の2つである。尚、解決に際しては、戸先の緩衝作用、介在物の引抜性など、戸先ゴム本来の機能を損なわないよう留意する必要がある。

- (1) 布やヒモ状のより薄い介在物まで検知出来るようにする (安全上の観点)
- (2) 車内側から挟まっている安全上問題の少ない介在物を識別出来るようにする (安定輸送の観点)

4.2 不感帯の解消

はじめに、より薄い介在物を検知可能とするため、戸閉スイッチで問題となっていた検知の不感帯を可能な限り小さくすることを考えた。検知管式では図8のように検知管を戸先ゴム先端部に配置し介在物により検知管が直接潰されるような構造にすることにより、潰れ代を検知に直結することが可能になる。また、もう1つの不感帯の要因である機械的接点は、検知管式では存在しない。これらのことから、戸先の緩衝作用(潰れ代)を残したまま、検知の不感帯を小さくすることが出来る。

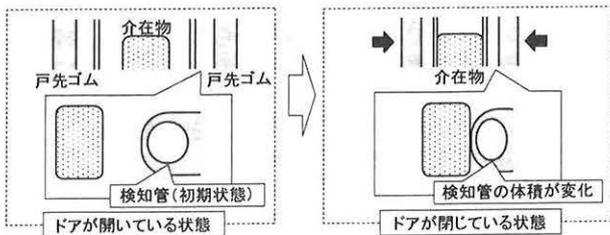


Fig8. Change of cross-sectional shape of pressure tube

図9は、検知管を左右のドアの先端部に設置した場合の戸先部分の拡大図である。現実のドアではドアが閉じ

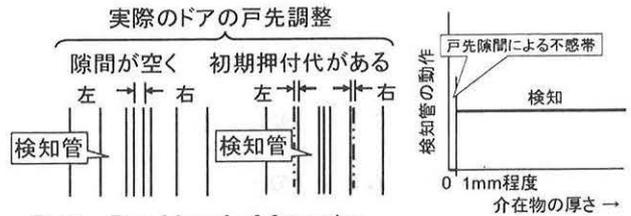


Fig9. Dead band of detection under existence of gap at the head of the doors

た状態で左右の戸先間に1~3mm程度の隙間または初期押付け代が生じる可能性があり、このうち隙間分は検知の不感帯になる。隙間や初期押付け代は、一定の範囲内となるように調整されているが、個々のドア毎に個体差が生じるため、検知のアルゴリズムを工夫することとした。図10は列車が駅に停車したあとのドアの開閉の状態とそのときの検知管の内圧変化の時刻歴を示したものである。以下の手順で戸挟みの有無を判定する。

- (1) 駅停車後、ドアが開く際の検知管の内力変化(左右の戸先ゴムが接している状態から離れた状態になり検知管が僅かに膨張し内圧が低下する)をドア毎に計測する。
- (2) 乗降終了後ドアを閉じた際、ドアが閉まり始めたときの検知管の初期圧力(基準圧力)に(1)で測定した圧力変化分を上乗せし、更に、予め装置に設定してある設定感度分の圧力を加えた値を判定しきい値とし、これを超える圧力が検出された場合に戸挟みと判断する。

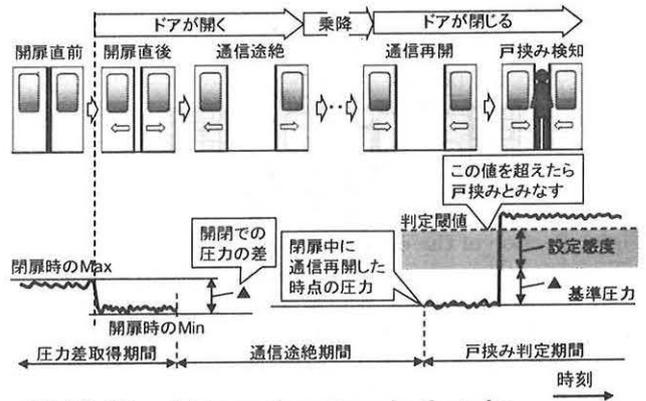


Fig10. Time history of pressure in the tube during the door operation sequence

このようなしくみにより、戸先隙間の個体差の影響を取り除くとともに、最適な設定感度を実車等での評価試験を通じて決定し、高精度な検知を実現することとした。

4.3 引きずり検知に有効な検知管の配置

駅発車時にドアが閉じた時点で介在物があれば、即時これを検知することが理想的であるが、図2-Bのような布やヒモ状の介在物の場合、前述のようなしくみで検知感度を高めたとしても検知が困難な場合が考えられる。そこで、仮に閉扉時点では検知が出来なかった場合でも、その後列車が走行を開始し、旅客が列車に引っ張られ始めた時点で検知させる方策を考えた(図11)。旅客が引っ張られた際、戸先に挟まっている布やヒモには張

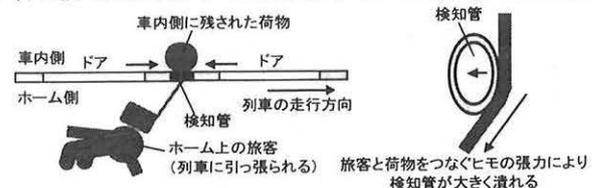


Fig11. Principal of detection of dragging of passenger

力が働き、これにより戸先先端部に配置した検知管を強い力で押し潰すように出来れば、検知が可能である。このような作用を可能にするためには、検知管を戸先先端部の車外側に配置することが必要である。

4.4 分割構造の戸先ゴムセンサの考案

以上の検討をもとに、引きずり事故防止に有効な戸先ゴムセンサを考案した。戸先ゴムセンサには、「閉扉の際に介在物などと接したときの衝撃を吸収する」「戸先の密着性を保つ」など、戸先ゴム本来の機能に加えて、

- ・介在物により検知管が十分に潰れ、確実に検知する
- ・介在物が容易に引き抜ける（一定範囲までは戸先ゴム本体が容易に変形する適度な柔らかさを有する）
- ・戸閉スイッチによる介在物の検知性能を損なわない（一定以上は変形しない適度な堅さを有する）

といった機能が必要になる。

ここで、これら3つは相反する性質であることから、それぞれをバランスよく両立させるために、戸先ゴムを機能毎に分割した複数のパーツで構成することとした（特許出願済み）。すなわち、図12において、「戸先部は介在物が容易に抜けるよう中空とし、適度な隙間を持たせる」「ベース部は介在物が容易に抜けるよう一定範囲まで潰れるが、その後は厚みを保ち、戸閉スイッチによる介在物の検知を保証する」「検知部は検知管が先端に配置され介在物を確実に検知するとともに、厚みの大きい介在物に対しては根元部分も潰れることで抜け易くなる」とそれぞれのパーツに機能を分担させた。

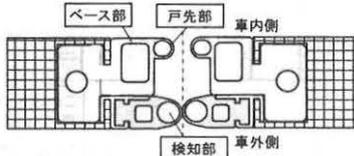


Fig.12. Section of the door stop rubber sensor by block construction

図13～図14に考案した戸先ゴムセンサの作用と、試作品における介在物による検知管の圧力変化の実測例を示す。評価の結果、試作品は以下の性能を有しており、引きずり事故防止に必要な条件を満たすことを確認した。

- (1) 平板 幅90厚さ2.5mm、丸棒 径5mmを検知可能
- (2) ヒモ状の介在物は3kgf程度の張力で列車の進行斜め方向に引っ張ることで検知可能
- (3) 介在物の引抜きに要する力は現行戸先ゴムと同等
- (4) 戸閉スイッチでの検知性能は現行戸先ゴムと同等（検知管による検知機能がフェールした場合）
- (5) 検知管を車外側に配置しており、車内側からのいたずらによる誤動作の心配がない

それ程厚みのないものは、戸先ゴムの隙間と変形により、容易に引き抜くことができる

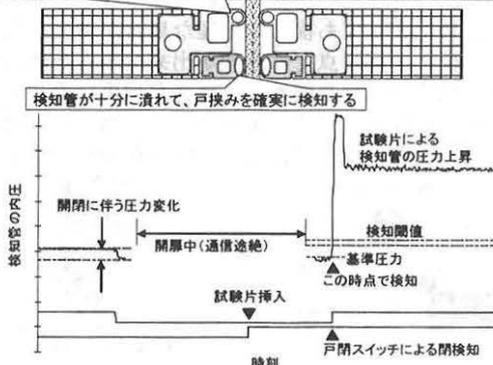


Fig.13. Behavior of the tube sensor and time history of pressure by thin pinched object

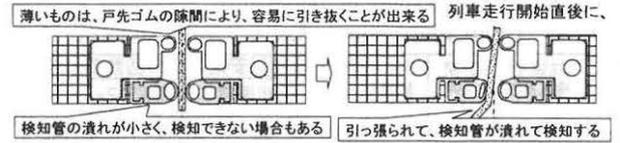


Fig.14 Behavior of the tube sensor and time history of pressure by closes or tape

4.5 残された課題

前述の分割構造の戸先ゴムセンサの性能は良好であったが、検知管が外部に露出していることから、機械的耐久性（旅客の身体や荷物等と直接接することによる磨耗や破損等）に関して懸念が残る。戸先ゴム本体内部に検知管を隠蔽することで耐久性は向上するが、検知感度が低下し、引きずり時にいち早い検知が出来なくなる。

感度と耐久性の両立を図るためには、列車が動き始めた直後に検知管に作用する力を定量的に把握することが重要となる。実際に立位姿勢の被験者（ランドセルを背負った小学生）にヒモで3kgf程度の力を水平方向に加える予備試験を行ったところ、姿勢を保持できずよける程度の力であった。このことから、列車に引っ張られた直後に安全に検知して列車を停車させるためには、前述の分割構造の戸先ゴムセンサの検知性能は妥当なレベルであると考えられるが、引き続き、引きずり事故を模擬した実験（図15）により最適な検知感度を見極めた上で、検知管の配置、構造を最終決定する必要がある。

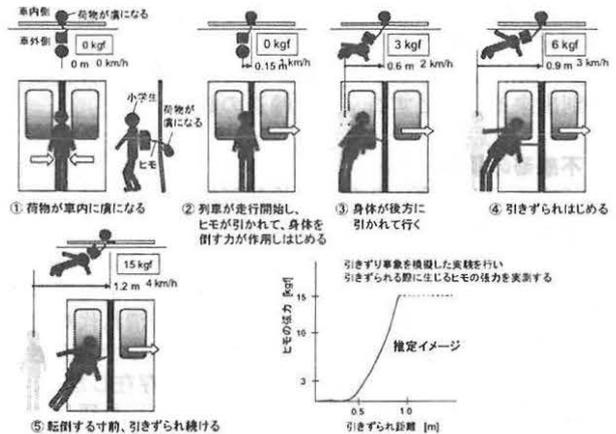


Fig.15 Simulation of dragging of passenger

もう1つの課題である「車内側からはみ出した旅客の着衣等の安全上問題の少ない介在物の識別」については今後対応方法を検討して行くが、設定感度を適切な値に選定すること、検知のアルゴリズムを工夫することで一定の対応が可能であると考えている。

5. 結論

引きずり事故防止のため検知感度の高い戸挟み検知装置を開発した。今後は、残された課題を含め、更なる改良を進めるとともに、営業列車でのモニタランを通じて、実際に発生している戸挟み事象の把握と、検知のアルゴリズム等の最適化のためのデータ取得を行う計画である。