

引きずり事故防止機能強化型 戸挟み検知装置の開発

栗原 芳勝* 和田 智樹 (東日本旅客鉄道株式会社)

村木 克行 (ジェイアール東日本メカトロニクス株式会社)

Development of high-sensitivity device to detect passengers or their belongings pinched between the doors for prevention of the dragging accident of passenger

Yoshikatsu Kurihara, Tomoki Wada (East Japan Railway Company)

Katsuyuki Muraki (JR EAST Mechatronics)

Dragging accidents, such as when passengers or their belongings are pinched between car doors when the doors close and the passengers are dragged by the doors when the train starts, are one of the most dangerous kinds of railway accidents. The authors have been developing a high-sensitivity device to detect passengers and articles pinched between the doors, to prevent these accidents. The passenger's belongings are detected by fluctuation of the air pressure in a tube attached to the door edge, and this method is superior to conventional devices like a mechanical switch. The results of the experiments are shown, the evaluation test that simulated the actual situation was done by using the test equipment, and the utility of this device was confirmed.

キーワード：引きずり事故、戸挟み、空気管、圧力変動、戸先ゴム

Keywords: dragging accident, pinched between the doors, air tube, pressure fluctuation, door-stop rubber

1. はじめに

駅ホーム上で車両のドアが閉じる際、旅客やその所持している物を挟む「戸挟み」は、そのまま列車が走行すると重大事故につながる。既存の戸閉装置では「戸閉スイッチ」と呼ぶリミットスイッチによってドアが閉まった状態を検知しているが、ドアに挟まれた薄い介在物の検知には構造的な限界がある。平成7年度よりリミットスイッチ方式に替わる戸挟み検知方法について研究を開始し、翌年度からはドアの先端に取り付けた緩衝ゴム（以下、「戸先ゴム」と呼ぶ）の中空部の内部空気圧変動を利用した高感度の戸挟み検知装置の開発に着手した。さらに、昨年度からは非常に薄い物を挟んだまま列車が起動を開始しても、早期の内に引きずりを検知できるように構造検討を行ってきた。

本研究では、これまでに整備した評価試験装置および研究基盤を基に評価試験を行い、有効なデータを得たのでその内容を報告する。

2. 戸挟み事象と戸挟み検知装置の仕組み

通勤電車等で現実に発生が想定される戸挟み事象を図1に示す。図中の「A.乗車時の戸挟み」、「B.降車時の戸挟み」は旅客がホーム側にいる状態で発生するケースであり、列車がそのまま走行を開始すると重大事故につながる可能性がある。特に、ベビーカのフレームや鞆の紐が挟まれて、即座に人体と車両の間を切り離すことができない状況では旅客が列車に引きずられ、重大な事故につながる。

一方、「C.混雑時の戸挟み」は旅客が車内側にいる状態で、これらのケースでは列車がそのまま走行しても重大事故につながる恐れはない。従って、A,Bは確実に戸挟みを検知して列車の走行を抑止し、Cについては戸挟み検知せずに列車の運行を必要以上に阻害しないことが要求される。

引きずり事故防止機能強化型戸挟み検知装置は、これらの戸挟み事象を適切に検知できるよう、戸先ゴム部に設けた「圧力検知管」と呼ぶゴム管の内部空気圧変動を圧力センサにより測定し、ドアが介在物を挟んだときに圧力検知管が押し潰されることにより内圧が上昇し、その上昇量が一定の値（閾値）を超えたときに「戸挟み」を検知する仕組みとなっている。（図2参照）



Fig1. Patterns of the pinching between doors

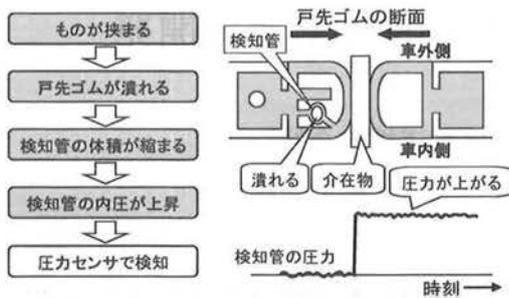


Fig.2 Mechanism of detection

3. 戸挟み検知装置の最適化

当初、戸挟み検知装置の検知性能については、布や紐など極めて厚みの薄い介在物を挟んでも車両が停車した状態で検知できるように感度の向上を目標において開発を進めてきた。これにより厚さ 3mm 程度 (幅 100mm) の平板を検知可能なまでに性能を高めることができたが、感度を高めたことによる図 1 の C にある事象も過剰に検知することが課題となった。さらに、実際の車両はドア周辺構造に比較的大きな寸法公差があり、感度を高めてもドアの寸法公差による不感帯の発生と感度のばらつきが生じる。従って、感度を高める方法には限界があるため、誤検知せず、ドアの個体差の影響も受けずに確実に戸挟みを検知できるように検知アルゴリズムを以下のように見直した。

3.1 検知アルゴリズムの変更

検知可能な比較的厚みを持つ介在物と、検知が困難な薄い厚みの介在物を、以下の 2 段階で戸挟み検知するアルゴリズムを採用することとした。

(a) 戸挟み検知 (比較的厚みを持つ介在物)

手のひらや杖などの介在物について、ドアが閉じた時点で圧力検知管が潰れることにより検知する。

(b) 引きずり検知 (薄い厚みの介在物)

(a)で検知困難な介在物 (紐や布などの薄いもの) については、列車の走行開始直後に介在物を介して旅客が走行方向に引きずられる (もしくは引っ張られる) 際に介在物に働く張力により圧力検知管が押し潰されて検知する。

戸挟み検知条件を 2 段階に分けることにより、列車が起動を始めてからではあるものの、検知が困難であった薄い介在物を「引きずり」として検知できるようになった。

また、ドアの寸法公差や気温変動による検知精度への影響については、次のアルゴリズムを追加した。(図 3 参照)

- ① 駅に停車後、ドアが開く際に生じる圧力検知管の内圧変動 (左右の戸先ゴムが接している状態から離れる際に、僅かに圧力低下を生ずる) の差分を記録する。
- ② 旅客の乗降終了後、ドアを閉じ始めたときの圧力検知管内の初期内圧に①の差分を加えた圧力値を基準圧力として、さらに設定感度分の圧力差分を基準圧力に加えた値を判定閾値とする。この判定閾値を超える内圧値が検知されたときに戸挟みと判定する。

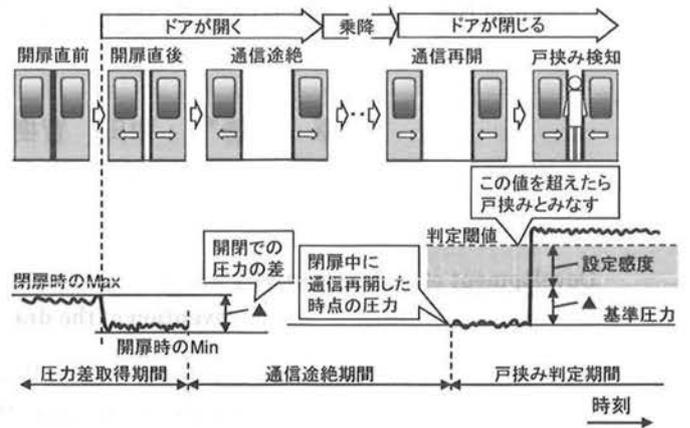


Fig.3 Algorithm to remove influence of door's individual specificity

これにより、ドアの寸法公差による影響を取り除き、全てのドアで感度を均一に設定することが可能となった。

3.2 戸先ゴムセンサ断面形状の変更

戸先ゴムと圧力検知管について、今までは布などの薄い介在物を積極的に検知することを目的としていたことから、圧力検知管を戸先ゴムの先端に配して積極的に圧力検知管の変形を促す構造 (図 4 参照) としていた。しかし、高感度ではあるが、誤検知の恐れ、耐久性の問題等、実用化に際しては課題があった。

そこで、3.1 節の検知アルゴリズムの変更と合わせて図 5 に示す戸先ゴムセンサを試作、評価した。図 5 の戸先ゴム形状を開発するにあたり、以下の条件を考慮している。

- ① 列車の進行方向に介在物が引っ張られる引きずり動作の際に圧力検知管が潰れ易くするため、圧力検知管を戸先部の車外寄りに配置する。
- ② 車内側からの着衣の引き抜き動作では、無用な検知を回避するため、検知の不感帯を意図的に設ける。
- ③ 車内側への引き抜きには反応し難く (検知せず)、車外側への引き抜きには反応する (検知する) 非対称性を持たせる。

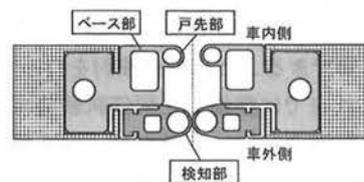


Fig.4 Door-stop-rubber (old type)

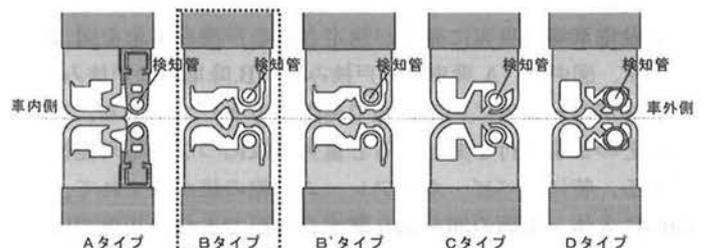


Fig.5 Door-stop-rubber (new type)

評価の結果、図 5 に示す戸先ゴム各タイプの中で「B タイプ」が検知性能面で前記条件に適した性能を有していることが明らかとなった。

4. 検証試験結果

4.1 戸挟み検知能力の検証

試作した「B タイプ」戸先ゴムの検知能力を、通勤型車両の標準である E233 系と同構造のドア部モックアップ試験装置で検証した。実車のドアシステムと同一の調整基準に合わせて各部を調整した上で、引きずり事故防止機能強化型戸挟み検知装置を組み込んで、手のひら、杖、布などを実際に挟み込んで試験した結果、以下の通りとなった。

4.1.1 手のひら、杖などの戸挟み

既存のリミットスイッチ方式では検知できない手のひらや杖を挟んだ場合の圧力検知管の内圧変化を図 6 に示す。

圧力検知管の内圧は介在物を挟んだ時点で大きく上昇しており(成人の手のひら:2000Pa、子供の手のひら:1000Pa、杖 15φ:600Pa)、戸挟み判定閾値を適切に設定すれば確実に検知可能であることを確認した。

4.1.2 衣服等薄い介在物の引き抜き

図 1 の「C.混雑時の戸挟み」のケースを想定し、着衣の裾の引き抜きを模擬した圧力検知管内圧変化について検証した。「B タイプ」の戸先ゴムには図 7 で示すように戸先ゴム外皮と圧力検知管の間に不感帯の隙間を設けている。

図 8 に内圧の変化を示す。試験片として厚さ 3mm と 6mm のウール生地を 700mm 幅でドアに挟んでいる。戸挟みの状

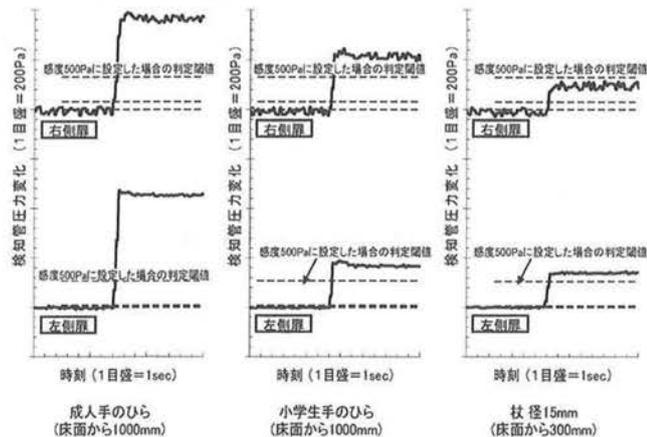
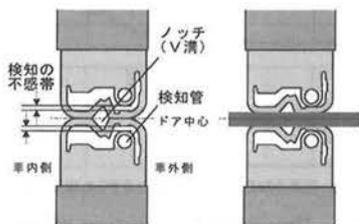


Fig.6 Pressure fluctuation of air tube (Palm/Stick pinched between doors)



検知の不感帯の存在により、車内旅客の着衣など布状の介在物は挟んでも検知しない(検知管が潰れない)

Fig.7 Dead zone inside of the door-stop-rubber sensor

態では内圧変動は 100Pa にも満たない微小な変化となり、不感帯の効果がでていますが、車内側への引き抜き動作に移るとピークで 1300Pa 程度まで内圧変動を生じている。このような車内側への引き抜き動作を戸挟みと検知しないためには、図 8 から分かるように引き抜き動作による内圧変化は急峻なものであることから、内圧変動にフィルタ処理を加える方法が考えられる。

4.2 引きずり検知能力の検証

実際の車両と同じ走行状態を模擬できる引きずり模擬試験装置を製作し、「B タイプ」戸先ゴムの引きずり検知性能を検証した。走行台車を停止状態から E233 系通勤電車の加速パターン(加速度 3.0km/h/s)で走行させ、様々な介在物により被験者(旅客)を引きずった際の圧力検知管の内圧変化、戸先ゴムに作用する力(ドアを開ける方向に作用する力)を測定した。

引きずり模擬試験を行う前段で、「紐」、「かばんのベルト(ストラップ)」、「マフラー」、「コートの裾」をそれぞれ模擬した 4 種類の試験片で引張力と圧力検知管内圧上昇量について測定した結果を図 9 に示す。

図 9 の横軸は介在物を引っ張る力で、引張力が小さい領域では、厚みの薄い「コート」、「マフラー」、「紐」は戸先ゴム内部に設けた不感帯の影響で内圧変化量が小さくなっているが、それらより厚みのある「ベルト」は内圧変化量が大きくなっている。しかし、圧力検知管を押し潰すよう

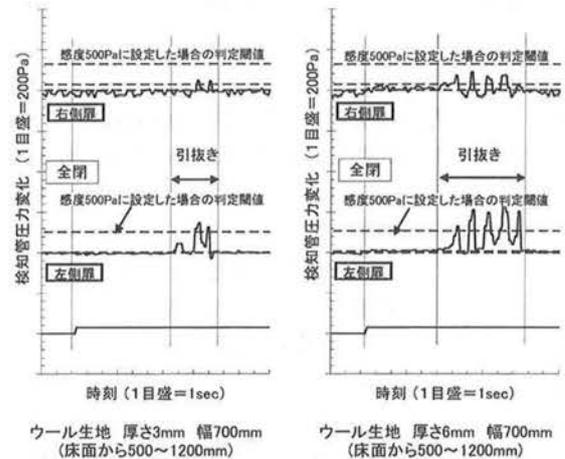


Fig.8 Pressure fluctuation of sensor (Wool fabric pinched between doors)

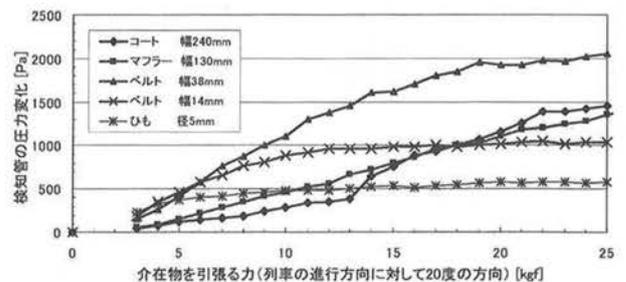


Fig.9 Relation between dragging force and pressure increase

な引張力の領域まで達すると、どの試験片においても内圧変化量は増大し、図 9 から閾値を 500Pa とすれば引張力 14 ~ 15kgf 程度で引きずりを検知できる。

図 10 に、成人被験者 (体重 65kgf) が持つかばんのベルト (幅 38mm のナイロン製) の戸挟みで引きずりが発生した時の測定結果を示す。

引きずり動作は以下の条件により測定を行っている。

- (1) 旅客が列車に正対した向きで、介在物が挟まれた状態で身体が直接引きずられる。(ある程度踏ん張ることが可能)
- (2) 列車に背を向けた状態で、介在物を肩、背中越しに挟まれた状態で身体が直接引きずられる。(踏ん張ることができないまま倒される。)
- (3) 列車に正対した向きで、介在物を手で引っ張りながらその場に留まろうとする。
- (4) 介在物を手で引っ張りながら併走しようとする。
- (5) 最初から膝を付いた状態で引きずられる。

(1)、(2)は走行台車の走行距離 1.5m までの測定、(3)、(4)は速度 5km/h まで加速した後は速度一定という条件で測定した。(5)は列車が加速を続け、旅客が引きずられ始めた後の挙動を時速 10km/h までの加速状態で確認した。(安全のため膝を付いた状態から始めた。)

図 10 の横軸は車両走行開始後の時間経過を表し、最上段のグラフには E233 系の起動開始時を模擬した速度パターンと走行距離を示している。同じ時間軸において、前述(1)から(5)の条件で測定した戸先ゴムにかかる作用力と圧力検知管の内圧変化を 2 段目以下のグラフに示している。引きずりを検知する圧力検知管内圧の閾値を 500Pa とした場合、いずれも車両の起動開始 3 秒以内、車両の走行距離約 1.6m 以内で引きずりを検知できることが分かる。また閾値を超えてからも車両が移動している間は内圧が閾値を下回することは無く安定した検知が可能であることが分かる。

また、引きずられる対象が子供である場合については、質量 30kg のサンドバッグで模擬的に検証を行ったが、内圧の変動量は成人と比較して小さいことから、閾値をより小さく設定するなどの対応が必要となることが分かった。

さらに、旅客が引きずられると、列車の走行に伴い極めて短い走行距離の間に旅客の身体は列車と平行な向きに振られて、車体に吸い寄せられるような挙動となり、車体とホームの隙間に転落する危険性がある。従って、走行開始後の早い段階で引きずりを検知することは重大事故防止に不可欠であることを改めて確認した。

5. 結論

旅客やその所持品がドアに挟まれる「戸挟み」と、「戸挟み」のまま列車が発車して起こる「引きずり事故」に対して、これらの状況を的確に検知する新たな概念の装置を試作し、試験を行った結果、以下のようなことがわかった。

- 1) 従来のリミットスイッチによる戸挟み検知方式よりも高感度な検知が可能である。

- 2) 極めて薄い介在物がドアに挟まれても、引きずり動作を応用して列車起動後早期に戸挟みを検知できる。
- 3) 着衣の裾などの引き抜き動作に対しては不要な検知を回避できる。

今後は、装置の信頼性、耐久性、耐候性など、残っている検証試験を引き続き実施すると共に、実際の車両に搭載する上での具体的な艤装検討、メンテナンス性、コストダウンなどを視野に入れて実用化に向けた開発を継続していく計画である。

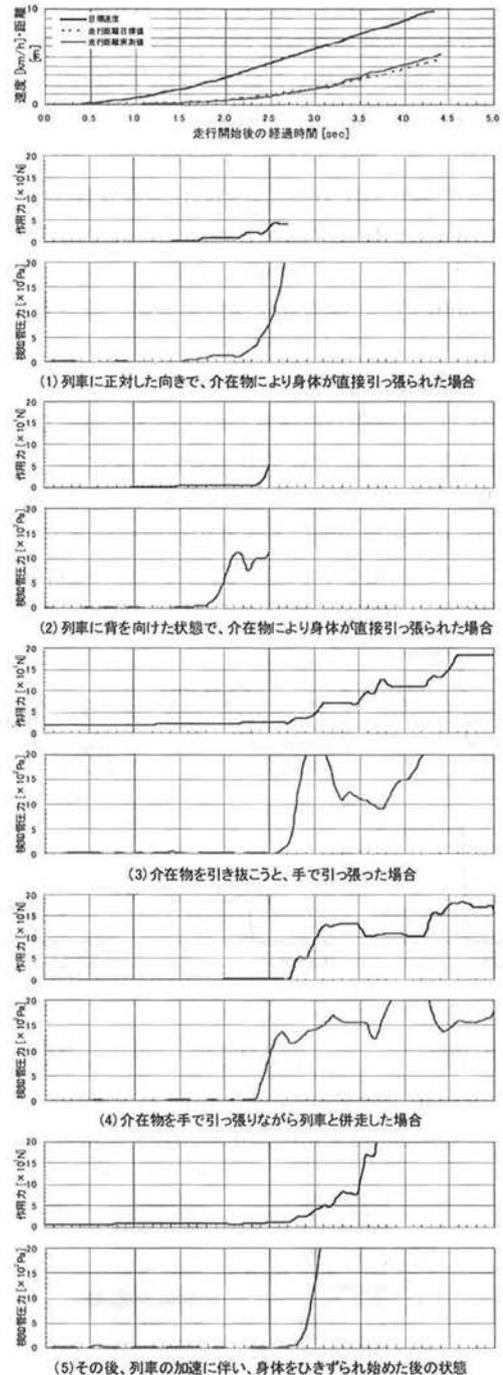


Fig.10 Pressure fluctuation of air tube (When an adult was dragged with a belt of baggage pinched between doors)