

## 引きずり事故防止機能強化型 戸挟み検知装置 の開発(2)



栗原 芳勝\*



村木 克行\*\*



和田 智樹\*\*\*



土井 賢一\*



堀岡 健司\*

旅客や所持品が車両のドアに挟まれたまま列車が起動を開始する「引きずり事故」は、安全上防止すべき事故のひとつである。これまで、従来の戸閉スイッチ（リミットスイッチ）によるドア物挟まり（戸挟み）検知方式よりも高感度の方式として、戸先ゴムの潰れによる内部空間の体積変化を空気圧変動として測定し戸挟みを検知する方式の開発を進めてきた。この方式を応用し、挟まれただけでは検知困難な薄い物でも列車が起動を開始した直後に引きずり事象として検知する方法を考案し、試験装置による実証実験によって有効な結果を得られた。

●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

### 1. はじめに

駅ホーム上で車両のドアが閉じる際、旅客や所持品を挟む「戸挟み」は、そのまま列車が走行を開始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。この課題を解決するため、1995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力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、検証を進めてきた。

本稿では、JR EAST Technical Review, No.29-AUTUMN.2009「引きずり事故防止機能強化型・戸挟み検知装置の開発」で報告した開発成果以降の開発内容および検証試験で得られた結果について報告する。

### 2. 戸挟み事象と戸挟み検知装置の仕組み

通勤電車などで現実には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る。特に、ベビーカーのフレームや鞆の紐が挟まれて、容易に引抜くことができない状況では、身体がベビーカーや鞆ごと列車に引きずられ、事故につながるおそれがある。

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事故につながるおそれはない。したがって、戸挟み検知装置の機能としては、

A,Bは確実に戸挟みを検知して列車の走行を止め、Cについては戸挟みとして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確実に検知できるよう、戸先ゴム部に「圧力検知管」と呼ぶゴム管を設け、その内部空気圧力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で内圧が上昇し、その上昇量が一定の値（しきい値）を超えたときに「戸挟み」を検知する仕組みとした。

### 3. 戸挟み検知機能の最適化

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でも挟まれた時点で即検知できるように感度の向上を目標にして開発を進めていた。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、一方で、危険度の低い図1のCの

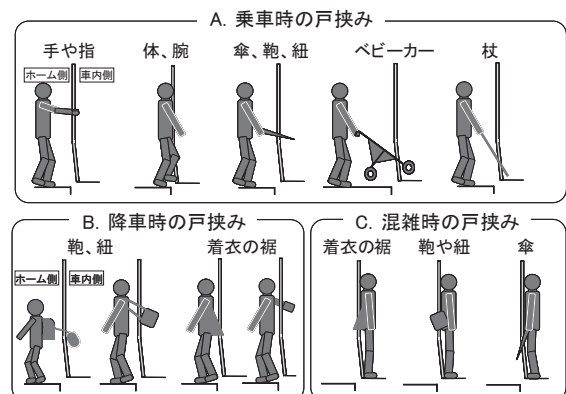


図1 戸挟み事象の例

ような事象も過剰に検知してしまうことが問題となった。さらに、実際の車両では戸先ゴムを含むドア全体の寸法公差、戸先隙間調整値の許容差および外気温変動による影響があるため、個々のドアで検知可能な介在物の厚みにもばらつきが生じ、特に薄い介在物についてはドアごとに検知感度にばらつきを生じるおそれがある。そこで、これらの問題を克服するため検知機能と戸先ゴムセンサの形状を以下のように見直した。

### 3.1 引きずり検知機能の追加

検知可能な厚みを持つ介在物と、検知が困難な薄い介在物の双方を検知可能とするため、「戸挟み検知」機能のほかに「引きずり検知」機能を追加し2段階で介在物を検知する方式とした。

(a) 戸挟み検知（検知可能な厚みを持つ介在物）

手のひらや杖などの介在物については、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により旅客が走行方向に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。

これにより、列車が起動開始直後に薄い介在物についても「引きずり」の予兆として検知できるようになる。

### 3.2 外乱要素のキャンセル処理機能の追加

また、ドア全体の寸法公差、戸先隙間調整値の許容差および外気温変動による影響については、次のアルゴリズムによりキャンセルするようにした。（図2参照）

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生ずる僅かな圧力低下）の差分を記憶する。

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、そこに設定感度（一定値）を加えた値を判定しきい値とし、この判定しきい値を超える内圧が検知されたときに戸挟みと判定する。

これにより、ドア全体の寸法公差、戸先隙間調整値の許容差および外気温変動による影響を取除き、すべてのドアで検知精度を均一に設定することが可能となる。

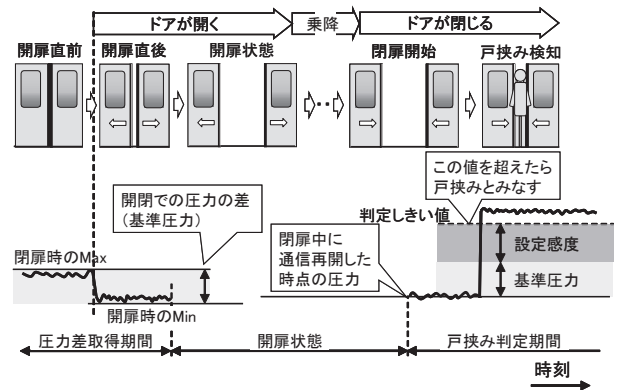


図2 戸挟み（引きずり）検知のアルゴリズム

### 3.3 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、当初の開発では布などの薄い介在物を積極的に検知することに主眼を置いていたことから、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としていた。しかし、誤検知のおそれ、耐久性の問題など、実用化に際しては課題があった。そこで、3.1節の機能追加に合わせてさまざまな形状の戸先ゴムセンサを試作、評価した。試作に際しては、以下の条件を考慮した。

- ① 列車の進行方向に介在物が引っ張られる引きずり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では、過剰に検知しないように、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。

評価の結果、図3に示す戸先ゴム断面形状が検知機能面で前述の条件に適した性能を有していることを確認した。

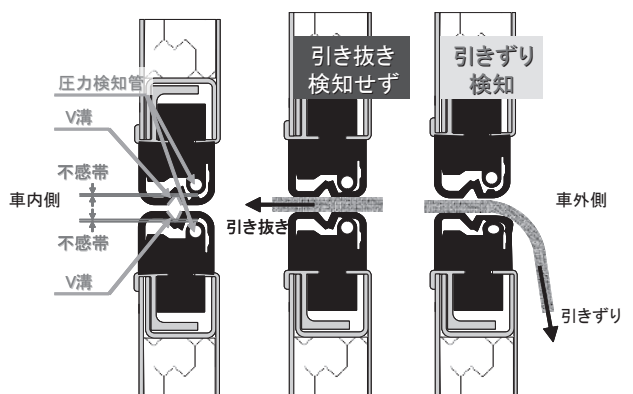


図3 戸先ゴムセンサ断面形状および内部構造

## 4. 検証試験結果

### 4.1 戸挟み検知機能の検証

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を製作し、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戸挟み検知機能の検証を行った。検証は、実車のドアシステムと同一の基準で各部を調整した状態で実施した。手のひら、杖、布などを挟んだ試験の結果を以下に記す。

#### 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困難な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4に示す。

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、子ども（小学生）の手のひら：1000Pa、杖15φ：600Pa）、戸挟み判定しきい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。

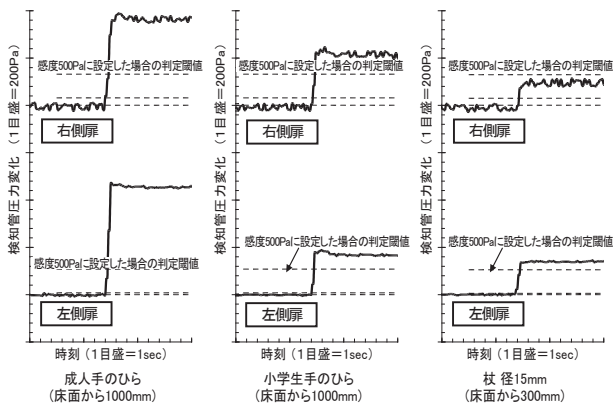


図4 圧力検知管内圧変化（戸挟み）

#### 4.1.2 薄い介在物の車内側からの引き抜き

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の際に生じる内圧変化を測定した。

図5に厚さ3mmと6mmのウール生地を700mm幅でドアに挟んだ際の内圧変化を示す。戸挟みの状態での内圧変動は100Paにも満たない微小な値であり、3.3節②で考慮した不感帯の効果が現れている一方、車内側へ引き抜く際には1300Pa程度をピークとする急峻な内圧変動を生じていた。急峻な内圧変動による無用な戸挟み検知を回避するためには、フィルタ処理により急峻な変動成分を除去することと、しきい値を適切に設定することが有効であることを確認した。

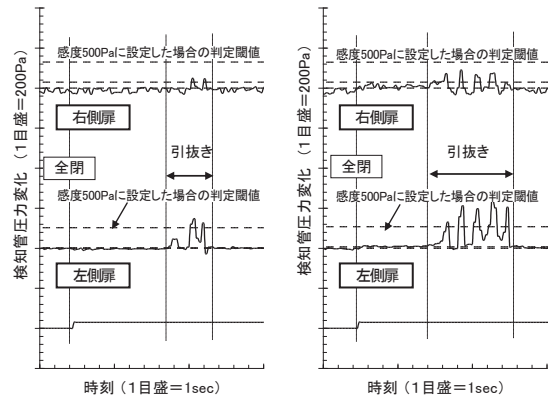


図5 圧力検知管内圧変化（車内側からの引き抜き）

### 4.2 引きずり検知機能の検証

引きずり検知機能を検証するため、はじめに介在物の種類（形状）の違いが検知にどのように影響を及ぼすか確認するために、引きずり状態を想定して介在物を車体側面に対して斜め20度の方向に引張り、その引張力と圧力検知管内圧の関係を測定した。測定結果を図6に示す。測定対象の介在物は、「紐」、「鞆のベルト」、「マフラー」、「コートの裾」の4種類とした。図の横軸は引張力、縦軸は圧力検知管内圧を示している。同図から以下のことが分かる。

- ①幅が狭い介在物：「ベルト」は戸先ゴムとの接触面積が小さく、応力が大きくなるため、引張力が小さい領域でも圧力検知管を押し潰して内圧が上昇する。
- ②幅が広い介在物：「マフラー」、「コートの裾」は戸先ゴムとの接触面積が大きく、応力が小さいため、戸先ゴム内部の不感帯の影響もあり、圧力検知管を十分押し潰すまでに①よりも大きな引張力を要する。
- ③「紐」状の介在物：細過ぎるため、大きな引張力を与えても圧力検知管の体積変化量は小さいため、内圧の上昇には限界がある。

前述のとおり①～③の特性を確認し、検知困難な紐状の物でも、しきい値500Paで14～15kgf（137～147N）程度の引張力を加えれば検知できることを確認した。

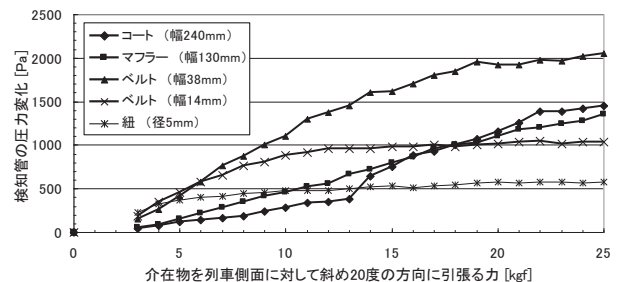


図6 介在物を引きずり方向に引張る力と内圧変化

次に、実際の車両と同じ列車の走行開始直後の状況を模倣できる引きずり模擬試験装置（図7参照）を製作し、図3の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、さまざまな介在物を挟んだ状態で被験者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。図8に、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を模倣した試験の測定結果を示す。測定は以下の5つの条件で実施した。

- (1) 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) は引きずられ始めた直後の挙動を想定して走行台車の走行距離1.5mまでの測定、(3)、(4) は引きずられる最中の挙動を想定し、被験者の安全を考慮して速度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、旅客が引きずられながら時速10km/hまで達する場合の挙動を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8の横軸は走行台車の走行開始後の時間経過を示し、最上段のグラフにはE233系の起動開始時の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設定しきい値を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った。また、しきい値を超えてからも車両が移動している間は内圧がしきい値を下回ること無く安定した検知が可能であることが分かった。

子どもが引きずられるケースについては、質量30kgのサンドバッグで模倣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、しきい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。

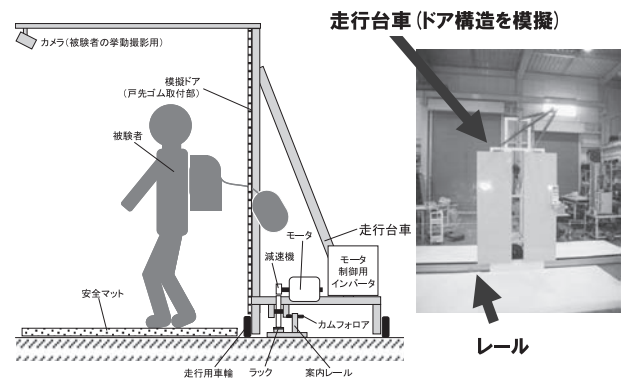


図7 引きずり模擬試験装置

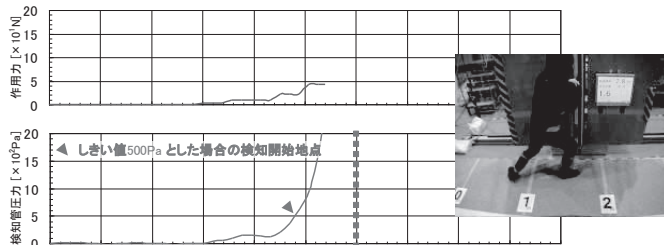
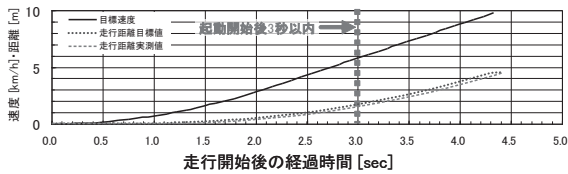
さらに、旅客が引きずられると、列車の走行に伴い極めて短い走行距離の間に旅客の身体は列車と平行な向きに振られて、車体に吸い寄せられるような挙動となり、車体とホームの隙間に転落するおそれがある。したがって、走行開始後の早い段階で引きずりを検知することが事故防止に必要であることを改めて確認した。

## 5. 結論

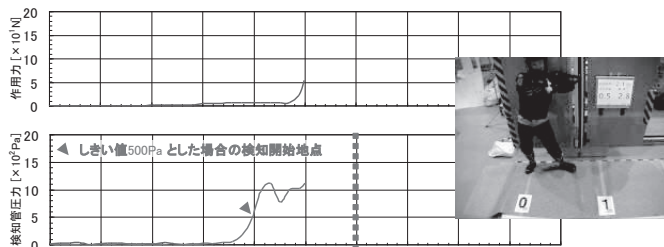
旅客やその所持品がドアに挟まれる「戸挟み」と、「戸挟み」のまま列車が走行を開始して起こる「引きずり事故」に対して、これらの状況を的確に検知する新たな概念による検知の仕組みを考案し、試験を行った結果、以下のようなことが分かった。

- 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) 極めて薄い物がドアに挟まれても、引きずり挙動による圧力検知管内圧変化を利用して列車起動後早期に戸挟みを検知できる。
- 3) 着衣の裾などの車内側への引き抜きに対しては不要な検知を回避できる。

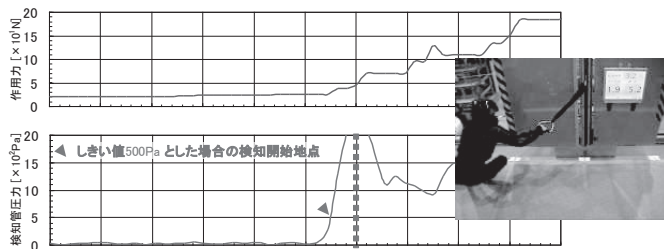
今後は、装置の信頼性、耐久性、耐候性などの検証試験を引き続き実施すると共に、実際の車両に搭載するうえでの具体的な機装検討、メンテナンス性、導入コストなどを考慮しながら実用化に向けた開発を継続していく計画である。



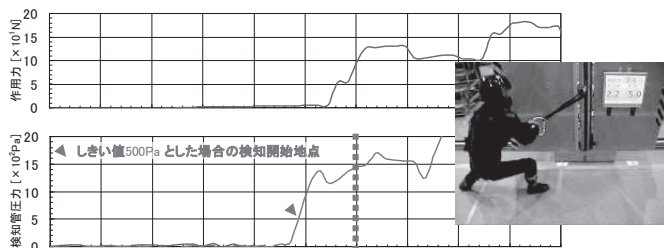
(1) 列車に正対した向きで、介在物により身体が直接引張られた場合



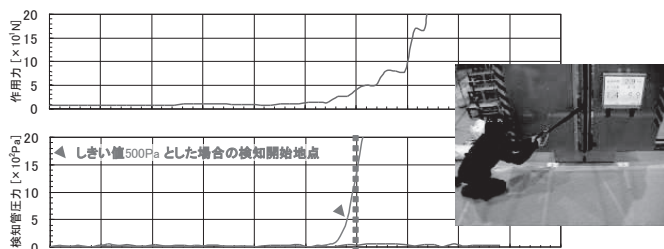
(2) 列車に背を向けた状態で、介在物により身体が直接引張られた場合



(3) 介在物を引抜こうと手で引張った場合



(4) 介在物を手で引張りながら列車と併走した場合



(5) その後、列車の加速に伴い、身体を引きずられ始めた後の状態

図8 圧力検知管内圧変化と戸先作用力（成人被験者を引きずった場合）

### 参考文献

- 1) 村木克行, 和田智樹, 松本重夫; 引きずり事故防止機能強化型戸挟み検知装置の開発, JR EAST Technical Review, No.29, pp39~42, 2009.11