

## 新型ホーム限界測定装置の 開発



青山 正博\*



中村 大輔\*\*



齊藤 岳季\*

旅客ホームにおける建築限界測定は定期的かつ精密な精度が要求される。当社では平成2年に開発したホーム限界測定装置を使用して測定を行っているが、重量が大きくまた脱輪しやすい等扱いづらい問題点がある。そこで、軽量化により運搬を容易にして作業環境の改善を図ることや、測定時の安定性の向上を目的として、既存の技術であるレーザ測距装置を搭載した新型のレーザ式ホーム限界測定装置を試作し、実ホームでの精度確認試験を行った。その結果、要求性能を満足する精度を確保することが確認でき、また重量の大幅な削減が可能であることが分かったので、以下にレーザ式ホーム限界測定装置の概要と試験結果について報告する。

●キーワード：建築限界、ホーム限界、レーザ測距、ホーム検測、ホーム限界測定装置

### 1. はじめに

旅客ホームに対する建築限界（以下、ホーム限界）は、列車の走行及びお客さまの列車乗降時の安全性を考慮し定めている。一般にホーム限界は、他の建築限界と比較し車両限界との離隔距離が約50mmと小さく、かつ列車走行時に繰り返し荷重を受けることで軌道が漸次変位するため、非常に厳しい管理が必要である。

そこで当社では、平成2年に開発したホーム限界測定装置（図1）（以下、現行機）を活用して、ホーム限界に10mmの余裕量をもたせた管理値を設定し、定期的かつ精密なホーム限界の測定（以後、検測）を行っている。



図1 現行のホーム限界測定装置

### 2. 現行機の問題点

現行機は、軌道上を走行できる台車からホーム側に突き出して設けられたアームを有し、その先端のローラを

ホーム端部に接触させ転がすことでローラと台車の相対距離を測定し、レールレベル上の軌道中心からホーム端部までの高さ及び離れを求め、あらかじめ記録させた管理値と照合することで支障の有無を判定している。非常に簡単な構造ではあるが、以下の問題がある。

- (1) ローラが接触した箇所しか検測できない。
- (2) 精密に検測するために、ローラをホームに強く押し付けるため、その反力として総重量が大きく（約50kg）、運搬に3人必要となる。
- (3) レールに車輪を強く押しつける必要があるため、カーブ等で脱輪しやすい。
- (4) ホーム形状が粗悪である場合、ローラが追従できず正確に検測できない。
- (5) 盛土式ホームの擁壁部を検測できない。

### 3. 新しいホーム限界測定装置の考え方

#### 3.1 基本的な考え方

今回の開発は前記の問題点を踏まえ、軽量化を図ることで走行安定性を確保し、また少人数での運搬を可能とするため、新型のホーム限界測定装置の開発を実施することとした。

新しいホーム限界測定装置は、現行機に要求される性能を踏襲することを原則とし、以下の仕様を満足することとした。

- (1) 検測精度±1mm以内であること（現行機と同等）
- (2) 時速4km/h程度の速度で検測漏れが生じないこと
- (3) 50cm毎に自動的に高さ・離れが検測できること
- (4) ホーム端部や特異点等任意の点で高さ・離れの検測が可能なこと
- (5) 目標重量は現行の半分（50kg→25kg）とし、運搬は2人で可能なこと。
- (6) 走行安定性を確保できること

### 3.2 ホーム検測方式の選定

検測装置は、開発から着手すると相当の費用と時間を要することから既存の技術を改良することとし、次の4つの技術からホーム検測に適する方式を選定した（表1）。

- (1) 現行機の原理（接触式）
- (2) レーザ方式
- (3) 光切断方式
- (4) 画像処理方式

表1 ホーム測距方式の選定

検測方法	重量	技術確立	汎用性	検測精度	総合評価	備考
接触式 (1)接触式 台車による軌道上からの検測	×	○	○	○	△	現行の方式で製品化されている。重量が大きいと硬磁吸着機構
非接触式 (2)レーザ方式 レーザ測距機を利用した検測	○	○	○	○	○	低重量で扱いやすい装置の開発が可能。市販品を改良することで採用可能。精度は選択するレーザ機器による。
(3)光切断方式 スリット光と画像解像による検測	△	○	×	○	△	比較的軽重量で扱いやすい装置の開発は可能だが、専用装置を製作する必要がある。
(4)画像処理方法 立体視の原理を利用した検測	○	△	×	×	×	線路外からの検測も可能だが、精度に問題がある。

その結果、低重量で技術的にも検測技術が確立しており、精度が確保できるレーザ測距（レーザスキャン）方式を採用することとした。また既存のレーザスキャン装置を比較した結果、国産メーカーのレーザ測距製品（三角測量の原理により検測）が重量・価格・精度の面で有利であったため、これをホーム検測に対応した装置に改良して、各種基礎試験を実施することとした。レーザスキャン装置の主な仕様を表2に示す。

表2 レーザスキャン装置の主な仕様

センサ部（レーザ装置）の主な仕様 検測原理：三角測量 視野角(振れ角)：31.6° 投光部：赤色半導体レーザ685nmレーザガラス2 検測可能距離：500～1000mm 計測ピッチ：1.28～2.57mm
---

## 4. 基礎試験の実施

### 4.1 基礎試験の考え方

選択したレーザ装置は、検測距離500～1000mm程度の範囲で精度±1mm以内を実現しており、また回転ミラーを利用しレーザビームが振れることにより断面形状を高速で検測できる（図2）。しかしこの方式の場合、レーザ装置とホーム位置の関係により検測できる範囲が異なり、当社管内にはホーム毎に高さや軌道中心からの離れが異なる様々なホームが存在するため、これらホームを網羅でき、かつ極力盛り変えをしないで検測できるようレーザ設置位置、レーザ放射角度等を決定するなどの基礎試験を実施した。

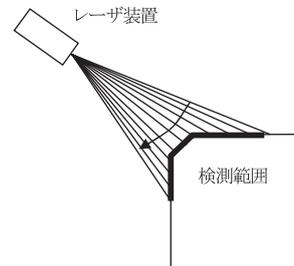


図2 レーザ装置によるホーム検測イメージ

### 4.2 基礎試験

屋内試験では、レーザ装置と検測対象物までの距離（高さ、離れ）、レーザ照射角度を変化させ検証を行った（図3）。また、屋外では、日照の有無、降雨状態模擬した試験等を実施した。

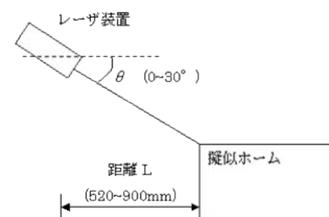


図3 レーザ装置の検証方式

その結果、レーザ照射角度が水平に対し10°未満ではホーム上面が湿潤状態の場合、レーザが発散する傾向が強く検測誤差が大きくなり、また角度を大きくした場合、ホーム奥行き方向の検測範囲が狭まり曲線等で建築限界を拡張した際、検出範囲を超えてしまうことやレーザ設置位置がホーム側に偏り装置全体のバランスを失い安定走行できない可能性があることが確認できた。このため

最終的なレーザ照射角度は、水平に対して10.8°下げた位置から、レーザビームの視野範囲角度を31.6°とすることとした(図3)。なお、この角度で検測した場合、アイセーフなレーザパワーであるクラス2において、測定可能な500mm~1000mmの範囲のうち距離500~750mmの範囲で精度が極めて高く、距離が離れるにつれ若干精度が落ちることが分かった。

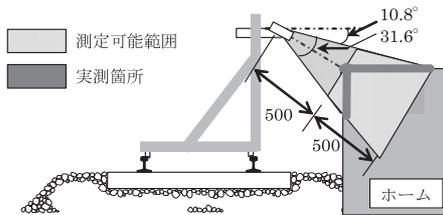


図4 新型ホーム限界測定装置の検測可能範囲

## 5. 検測用ソフトウェアの開発

ホームでの検測を行う場合、軌道に載せた台車が一定距離を走行する毎に検測しなければならない。そこでレール上を転がる距離検測用エンコーダの距離情報から50cmピッチに距離検知信号を送り、自動的にホームの検測ができるほか任意点での検測もできるソフトを開発した。これは最高約15km/hで検測した場合でも、距離検知信号が出てからスキャン開始までのタイムラグがほとんど無く、測定者は瞬時に建築限界支障有無を判定できるものである。

なお、現行機は、幅50mmのローラがホーム端部を転がることにより検測する。従って、検測範囲はローラが転がる幅(ホーム端部から50mm)のみとなるが、新型ホーム限界測定装置ではレーザで広範囲の検測を行うことが可能であり、また検測用ソフトウェアを改良すればホーム擁壁の測定も可能である。なお、検測範囲の設定は今後導入時までに決定する予定である。

## 6. 検測用台車の試作

前記したように現行機は、ローラをホームに強く押し付けて検測するための反力が必要であり重量が大きい。しかし、レーザ式の場合この反力が不要なため、主部材をアルミ製やカーボンを使用することにより部材の軽量化を図った新しい台車を試作した(図5)。なお、試作するにあたっての主な設計の考え方は以下のとおりである。

(1) 極力軽量化な構造とし、かつ走行安定性を確保する。

- (2) 主要フレームはシンプルな形状とする。
- (3) レーザスキャン装置にはスライド部を設け、各種高さのホームに対応できるようにする。
- (4) R300の拡大寸法(182mm)でも直線と同様に盛り替えなしで測定できることとする。
- (5) 支柱は折りたたみ可能な構造とする。

試作した台車の重量を表3に示す。試作した台車は現行機に比べフレーム等部材の軽量化ができた一方、レーザ機器及び電源が必要となるため若干の重量が加算された。配線のスリム化、台車構造の変更、パソコン等電子機器の最適な選択によるさらなる軽量化について現在検討中である。



図5 新型レーザ式ホーム限界測定装置の試作機

表3 主な重量の比較表

	試作機	現行機
検測台車本体(センサ含む)	23kg	44kg
その他構成部品	12kg	4kg
計	35kg	48kg

## 7. 実ホームでの評価試験

### 7.1 実ホームでの検測概要

基礎試験において静的な精度を確認したレーザ機器を搭載した台車を製作し、簡易な電留線ホームで基礎的なデータ確認を行ったのち、営業線ホームで精度確認試験を行った。検測を行った営業線ホームは、設計基本高さが920mm、760mmが混在し、また離れ方向の拡大寸法が182mmある極めて条件が厳しいホームである。

#### (1) 検測ホームの概要

検測箇所：当社管内H線Y駅

検測ホーム：1番線 ホーム長さ149.5m

線路形状：直線+R300

ホーム基本高さ：760mm・920mm

(実測最高923mm、最低742mm)

ホーム基本離れ：1400mm・1485mm(拡大寸法182mm)

(実測最遠1684mm、最近1441mm)

(2) 試験内容

- ・検測時作業性・操作性等の検証  
装置の運搬、組立、台車の走行安定性等
- ・検測結果・検測精度の検証  
手検測 始終点及び5m間隔にホーム検測用直角定規で検測  
現行機 始終点間を複数回検測  
試作機 始終点間を複数回検測  
(うち1回は途中盛り替え操作性確認)

検測精度の検証として、手検測、現行機、試作機を複数回検測した結果をそれぞれ比較した。

7.2 検測結果

(1) 性能比較

各種確認試験を行った結果を表4に示す。非接触式で軽量化を図ったことにより、装置全体の重心が左右レールよりも内側の軌道中心付近となり、重量バランスが向上したから、カントがついた曲線でも安定した走行を行うことができるほか、運搬が容易になった。

(2) 検測結果 (検測断面)

試作したソフトウェアにより検測した代表的なホーム断面形状の検測結果を図6に示す。検測結果から得られたデータに対し、離れはホーム端部から下方向に対する抽出範囲を決め、抽出範囲内での最短の検測値を離れの検測値とし、高さはホーム端部から離れ方向に対する抽出範囲を決め、抽出範囲内での最高の検測値を高さ検測値としている。

表4 主な性能確認結果

項目	試作機	判定	現行機	判定
検測精度	現行機と同等で1mm以内確保。ホーム形状が粗悪でも正確に検測可	○	誤差1mm以内。但しホーム形状が粗悪な場合は正確な検測不可	△
重量	約35kg (現時点)	○	約50kg	×
運搬、軌道への設置等	重量バランスが良い	○	バランスが悪い	×
走行安定性	非接触で重心が軌道中心付近であるため良い	○	接触式で重心が軌道外のため脱輪しやすい	×
検測範囲	現行機よりも検測範囲が広く盛り替え回数が少ない	○		×
検測ソフトウェア	任意点及び時速4km/hで50cm毎の自動検測可能。但し単純な仕様へ改善の余地あり	△	任意点及び時速4km/hで50cm毎の自動検測可能。単純構造のため扱いやすい	○
雨天時の対応	レーザーが乱反射するため、傘等防雨対策が必要	×	台車フレーム内に電子機器を収納可能	○

(3) 検測精度

新旧ホーム限界測定装置を用い、各装置で複数回検測を実施した。それぞれの結果を比較した結果を表5、表6に示す。高さ・離れに対するそれぞれの誤差  $(2.58\sigma)^1$  が1mm以内に収まっており、繰り返し精度、再現性としては問題ない。なお、現行機と試作機を比較した場合、試作機の方が誤差が大きくなっているのは、試作機は検測精度が高く微妙な不陸まで検測可能であるが、今回検測したホームには不陸があり、複数回測定した場合には微妙に違う位置を検測してしまったため誤差が発生したと考えられる。なお、試作機で測定したデータのうち、ホームの段差等が顕著で明らかに誤差と考えられるデータを取り除いて集計した場合は、新旧検測装置での検測誤差の標準偏差 $\sigma$ はほぼ等しくなった。

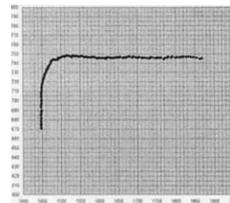


図6 検測結果 (検測断面)

表5 高さ検測結果の誤差の新旧比較

	現行	新型	判定
試料数	598	598	
誤差の標準偏差 ( $\sigma$ )	0.25mm	0.36mm	
誤差 $(2.58\sigma)$	0.63mm	0.94mm	誤差1mm以内を確保

表6 離れ検測結果の誤差の新旧比較

	現行	新型	判定
試料数	598	598	
標準偏差 ( $\sigma$ )	0.28mm	0.38mm	
誤差 $(2.58\sigma)$	0.72mm	0.98mm	誤差1mm以内を確保

7. おわりに

今回試作した新型ホーム限界測定装置では、ソフトに改良の余地があること、雨天時のデータ取得に課題があることが分かった。今後はこれら課題の克服に向けた検討や実用化に向けたレーザー装置の改良や配線のスリム化などを行い、またユーザの意見を取り入れ操作性等を確認する予定である。同時に台車関係の不要な部位を削除しさらなる軽量化とイニシャルコストダウンの検討を行っていく。

\*1 誤差  $(2.58\sigma)$  とは正規分布表より算出して99%の確率でこの範囲に収まることを示す指標である。なお、ホーム限界測定は厳密な測定が必要であるが屋外での使用を考慮して有意水準を1%とした。