□鉄道総合技術論文誌□

2026年11月1日発行　Print ISSN 0914-2290
Online ISSN 2436-939X

鉄道総研報告

第40巻　第11号　　2026年11月

論文

(施設) 新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの実用化に向けた検証
……塩田勝利，及川祐也（１）

(電気) 光切断法を用いた剛体電車線摩耗計測装置の開発
……薄広歩，松村周，山下主税，清水政利（10）

解説

(車両) (施設) 鉄道分野の乗り心地評価・振動測定に関する欧州規格の概要と改訂動向
……田頭尚大，渡部貴浩，鈴木浩明（18）

公益財団法人 鉄道総合技術研究所

公益財団法人鉄道総合技術研究所
鉄道総研報告
RTRI REPORT
Vol.40, No.11, 2026

新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの実用化に向けた検証

塩田　勝利*　　及川　祐也**

Verification of Practical Application of Steel Movable-Nose Crossings for the Shinkansen

Katsutoshi SHIOTA　　Yuya OIKAWA

Currently, almost movable nose crossings used on Shinkansen main lines are made of high-manganese steel. We have developed a steel movable nose crossing made of steel rail for the Shinkansen to enhance ultrasonic inspection efficiency and reduce maintenance costs by extending replacement intervals. To verify its practical performance, test installations were conducted at a Shinkansen rolling stock depot vehicles (at 30 km/h) and on a conventional line with freight vehicles at 80 km/h. Consequently, switching performance, component stresses, rail defects, and rail wear remained all within allowable limits, confirming that the crossings offer sufficient performance under these test conditions.
キーワード：走行試験，転換試験，レール応力，新幹線，レール探傷

1. はじめに

ノーズ可動クロッシングは，分岐器内におけるクロッシングの軌間線欠線部をなくし，車両が速度を低下させずに基準線（直線）側を通過することができる機能を有している．現在，新幹線で使用されているノーズ可動クロッシングは全て高マンガン鋼製であるが，高マンガン鋼は内在する鋳巣と結晶粒サイズに起因して超音波による内部の探傷検査が困難であるため，解体し浸透探傷検査によりきずの有無を確認するとともに，累積通過トン数に応じた交換を実施しており，保守管理に労力を要している．そこで，これまでに超音波探傷による検査の効率化と交換周期の延伸による保守コストの低減を目的として，新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシング（以下，「本クロッシング」という）を開発し，実物大載荷試験や試験線におけるモータカーの走行試験等によりその性能の確認を進めてきた[1)]．

その後，新幹線本線への導入に向けたさらなる検証として，新幹線車両基地内で基準線側を 30km/h 程度で通過する状況下での性能確認試験の実施ならびにさらなる高速域での性能を確認するため旅客・貨物列車が 80km/h 程度で通過する在来線軌道の一般区間において約 2 年間の試験敷設を実施した．本稿では，その結果について報告する．

2. 新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの概要

現在，新幹線で使用されている高マンガン鋼製ノーズ可動クロッシングは図 1 に示すように，主にウィングレール，可動レール，クロッシング構の 3 要素で構成されている．その一方で，本クロッシングは，図 2 に示すように，主に可動レール，ウィングレールおよび大床板の 3 要素で構成され，大床板の上に可動レールとウィングレールを配置して座金等で組み付ける構造である．本クロッシングでは，レール鋼を用いていることからレールきずの超音波探傷検査が可能であるとともに，クロッシング構を省略し，可動レー

＊　　軌道技術研究部　軌道構造研究室
＊＊　　軌道技術研究部　軌道構造研究室（現 企画室）

ルを大床板で支持する構造としたことで，ウィングレールおよび可動レールのみの部分交換が可能となっている．また，可動レールの基準線側と分岐線側の両方に，レール底部の断面積を小さくして転換時にレールをたわませる弾性部を設けたことで円滑な転換挙動と可動レール弾性部の発生応力の低減を実現している．

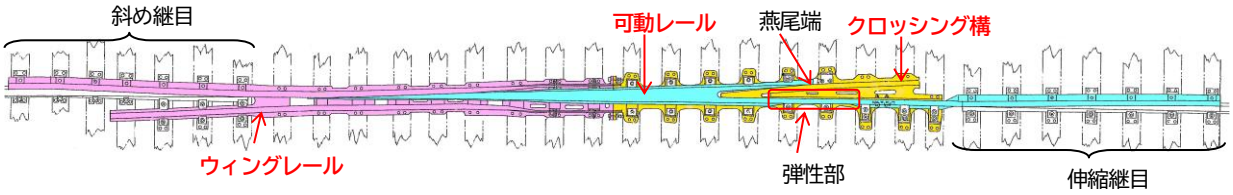


図 1　高マンガン鋼製ノーズ可動クロッシングの構成

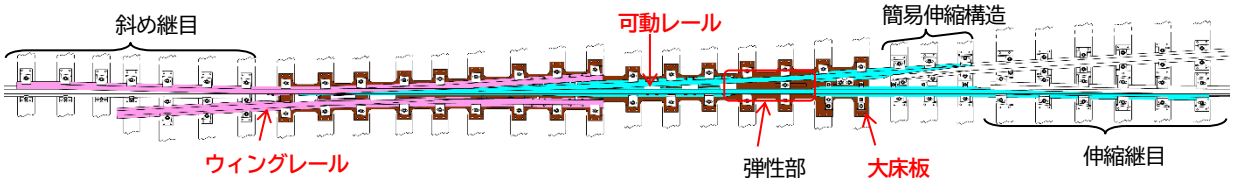


図 2　レール鋼製ノーズ可動クロッシングの構成

3．新幹線車両基地における試験敷設および性能確認試験

3.1　敷設箇所および敷設工事

新幹線車両基地における敷設箇所の概況を表 1 に示す．敷設は車両基地内の直線の一般区間で行った．また，図 3 に敷設工事の状況を示す．本クロッシングの現地への搬入は，作業効率を踏まえ施工当夜に実施した．組み立て可能な材料については車両基地で組み立てた状態で運搬を行った上で施工を行い，問題なく敷設できることを確認した．なお，後述する可動レールの転換試験を行うため，電気転てつ機も併せて敷設を行った．電気転てつ機は新幹線のノーズ可動クロッシングで一般的に使用されている TS 形を敷設した．

表 1　敷設箇所の概況

敷設箇所	新幹線車両基地・一般区間
年間通過トン数	約 0.33 百万トン （車両運用によって変動有）
レール種別	60kg レール
分岐器番数	18 番片開き分岐器 （クロッシング単体を敷設）
敷設期間	約 2 年間



（a）　運搬状況　　（b）　敷設後

図 3　敷設工事の状況

3.2　新幹線車両基地における性能確認試験

3.2.1　試験概要

性能確認試験として一定期間毎に，転換性能を確認する「転換試験」と新幹線車両走行時にレールに発生する応力を測定する「新幹線車両走行試験」を実施した．試験は，敷設直後，敷設約 6 か月後（累積通過トン数約 23 万トン），約 17 か月後（累積通過トン数約 66 万トン）の計 3 回実施した．また，超音波探傷によるレールきず検査が実施できることを確認するため，超音波探傷に関する検証試験も実施した．

3.2.2 転換試験

可動レールの転換試験の状況を図 4 に示す．転換試験では，可動レールを定位（基準線転換時）の状態から反位（分岐線側転換時）の状態まで電気転てつ機により転換し，再度定位の状態に戻し，その際の転換負荷および図 5 に示す位置の可動レール弾性部の応力を測定した．なお，可動レール弾性部応力は，可動レールの中立状態における応力を基準として転換時に発生する応力の変動を発生応力とした．

試験結果の一覧を表 2 に示す．試験の結果，累積通過トン数と転換負荷および弾性部応力の間に相関関係はみられなかった．転換負荷の最大は 4.7kN であり，TS 形電気転てつ機の最大転換負荷の 10.2kN[2] より小さく，可動レールの転換に問題がないことを確認した．また，可動レール弾性部応力の最大は 84.3N/mm^2 であり，分岐器の設計において用いられるレール弾性部の許容応力値[3] 137.2N/mm^2 より小さく，可動レールの転換時のレール発生応力について問題がないことを確認した．



図 4　転換試験の実施状況

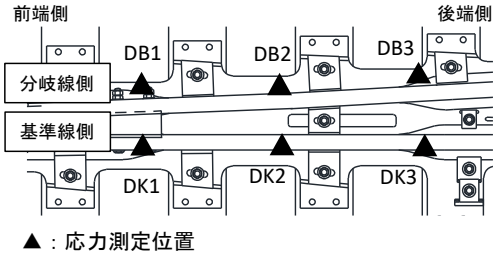


図 5　弾性部応力の測定位置

表 2　転換試験の試験結果一覧

項 目	単 位	最大値			目安値
		第1回 敷設直後	第2回 累積通過トン数 23万トン	第3回 累積通過トン数 66万トン	
転換負荷	kN	4.0	4.7	3.2	10.2
弾性部応力	N/mm^2	53.8	84.3	64.8	137.2

3.2.3 新幹線車両走行試験

車両走行試験の状況を図 6 に示す．車両走行試験では，新幹線車両が本クロッシングを基準側開通状態において対向および背向走行する際に，可動レール弾性部および可動レール底部・叉部に発生する応力を測定した．可動レール底部・叉部の測定位置を図 7 に示す．なお，可動レール弾性部の測定位置は図 5 と同じである．本測定では可動レールを定位に転換した状態の応力を基準として車軸が通過する際に発生する応力変動を発生応力とした．

試験結果の一覧を表 3 に示す．可動レール弾性部応力の最大は 27.9N/mm^2，可動レール底部・叉部の最大は 82.0N/mm^2 であり，分岐器の設計において用いられるレール弾性部の許容応力値[3] 137.2N/mm^2 およびレー



図 6　車両走行試験の実施状況



図 7　可動レール底部・叉部応力の測定位置

ルの許容応力値[3] 196.0N/mm^2 よりも小さく，車両走行時の可動レールの発生応力について問題ないことを確認した．本敷設期間中においては，各部の発生応力に大きな変化は認められず，目安値を十分下回る値で推移していたことから，長期の供用においても安定した性能を維持できる見通しを得た．

表 3　車両走行試験の試験結果一覧

項 目	単 位	最大値			目安値
		第1回 敷設直後	第2回 累積通過トン数 23万トン	第3回 累積通過トン数 66万トン	
弾性部	N/mm^2	27.9	25.9	27.6	137.2
底部・叉部※	N/mm^2	79.3	81.0	82.0	196.0

※第1回は叉部、第2回と第3回は底部

3.3　超音波探傷に関する検証試験

マンガン鋼製ノーズ可動クロッシングは，内在する鋳巣と結晶粒サイズに起因して超音波探傷検査の適用が困難であるが，レール鋼で構成される本クロッシングでは，一般区間と同様に超音波探傷検査での評価が可能である．そこで，レール頭頂面を連続走査可能な手押し式超音波探傷器（東京計器製 PRD-300）を用いた探傷試験を実施し，PRD-300 で探傷不能な領域および疑似エコー検出の有無を調査した．超音波探傷試験では，敷設した本クロッシング基準線の前端側斜め継目から後端側伸縮継目にわたって，レール頭頂面から連続して超音波を入射した．併せて，敷設後に走行したレール探傷車による探傷画像を確認し，本クロッシングがレール探傷車による超音波探傷検査に対応可能であるかどうかを確認した．

探傷試験結果の一例として，可動レールの探傷画像を図 8 に示す．試験の結果，可動レール後端部では，いずれの箇所も垂直探傷でレール底面からの反射エコーが得られるとともに，斜角探傷においても疑似エコーは認められず，一般区間と同様に探傷が可能であることを確認した．また，ウィングレールにおいても同様の結果であった．一方，可動レールの乗り移り部では，超音波の送受信が途切れて底面エコーが得られない探傷不能領域が存在した．また，可動レールの後端側スイッチアジャスタロッド取り付け部でも，垂直探傷において取り付け部に超音波が透過するため，底面エコーが得られない領域があった．ただし，垂直探傷でエコーが得られない可動レール乗り移り部およびロッド取り付け部については，図 9 に示すように手探傷による超音波探傷可能であることを確認した．

次に，図 10 にレール探傷車による探傷結果を示す．レール探傷車においても，手押し式超音波探傷器と同様の範囲でレール底面からの反射エコーが得られること，ならびに可動レール乗り移り部および可動

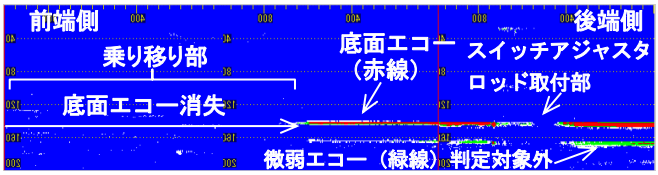


図 8　手押し式超音波探傷器による垂直探傷結果

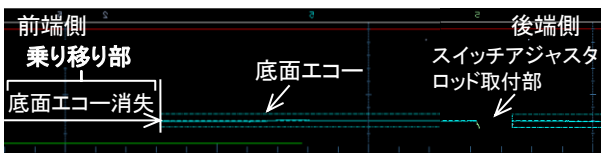


図 10　レール探傷車による垂直探傷結果



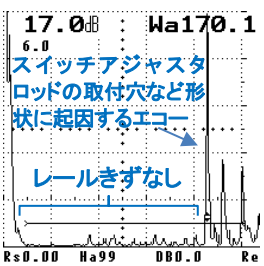


図 9　手探傷による探傷結果の一例（可動レール乗り移り部）

レール後端側のスイッチアジャスタロッド取り付け部においては底面エコーが得られない領域があることを確認した．

以上の結果より，本クロッシングは，可動レール乗り移り部等の区間を除き，一般区間と同様に頭頂面からの超音波探傷検査が可能であることがわかった．また，頭頂面からの超音波探傷が適用できない区間については，手探傷を併用することでクロッシング全体の超音波探傷検査が可能であることを確認した．

4．在来線軌道における試験敷設および性能確認試験

4.1 敷設箇所および敷設工事

在来線軌道の一般区間の直線で本クロッシングを試験敷設した．敷設箇所の選定にあたっては，新幹線車両相当の重量を有する貨物列車が走行する線区のうち，新幹線車両基地での走行試験時と比較して，より高速で車両が通過する箇所を選定した．敷設箇所の概況を表 4 に示す．本箇所は，旅客･貨物列車が 80km/h 程度で通過する区間である．図 11 に敷設工事後のクロッシングの全景を示す．

表 4 敷設箇所の概況

項目	内容
線形	在来線　一般区間・直線
軌道構造	60kg レール（定尺区間） PC まくらぎ・バラスト軌道
走行車両	旅客列車・貨物列車
年間通過トン数	14.5 百万トン
走行方向	背向走行

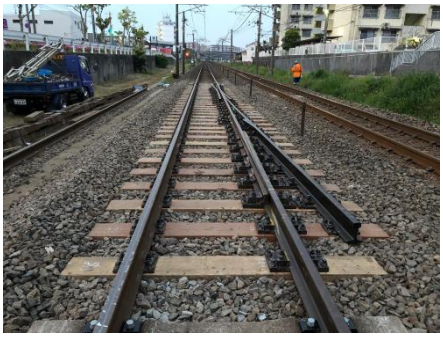


図 11 試験敷設後の状況

4.2 在来線軌道における性能確認試験

4.2.1 試験概要

性能確認試験として一定期間毎に，車両通過時の部材応力を測定する「挙動確認試験」およびレールきずとレール摩耗を確認する「追跡調査」を実施した．試験および調査は，敷設約 5 か月後（累積通過トン数約 600 万トン），約 11 か月後（累積通過トン数約 1300 万トン），約 15 か月後（累積通過トン数約 1800 万トン），約 19 か月後（累積通過トン数約 2300 万トン）の計 4 回実施した．

4.2.2 挙動確認試験

図 12 に挙動確認試験の状況を示す．挙動確認試験では，試験敷設した本クロッシングを通過する車両に対し，可動レール底部の応力，可動レール弾性部の応力，可動レール叉部の応力，大床板の応力をひずみゲージの設置により測定した．各部材の測定点は，まくらぎ間の中央位置や各部材の形状変化箇所など応



（a） 貨物列車走行時の状況　　（b） 応力測定箇所の詳細

図 12 挙動確認試験の状況

力が大きくなると想定される箇所を選定した．また，本クロッシングより進行方向手前の位置において輪重を測定した．

図 13 に，計 4 回の試験結果のピーク値の推移および各部材の許容応力値との関係を示す．なお，各部材の許容応力値は，可動レール底部および叉部については 196.0N/mm^2，可動レール弾性部については 137.2N/mm^2，大床板（一般圧延鋼：SS400）については 98.0N/mm^2 を用いた[3]．試験の結果，累積通過トン数 2300 万トン通過時においても，各部材のひずゲージ設置位置における発生応力の最大値は各部材の許容応力値を下回っており，発生する応力に問題はみられないことを確認した．

なお，可動レール叉部応力については許容応力値に対して十分な余裕があるものの累積通過トン数に応じて増加する傾向がみられた．これは，図 14 に示すように，累積通過トン数の増加に伴い車輪とレールの接触面が可動レールのゲージコーナー側（GC 側）からフィールドコーナー側（FC 側）に移動し，叉部と接触するようになっていることから，この衝撃によって生じているものと考えられる．なお，この現象は本敷設箇所を走行する在来線の旅客・貨物列車の車輪踏面形状によりレールが摩耗し，反フランジ側が FC 側と接触するため生じたが，新幹線の車輪踏面形状においてはレールが摩耗した場合でも FC 側と接触しないものと考えられる．

次に，在来線での試験と新幹線車両基地内での試験において，可動レール底部に発生する応力の最大値，輪重，走行速度を比較した結果を図 15 に示す．在来線での試験では新幹線での試験に比べ，輪重および走行速度の最大値が増加しているとともに，可動レール底部の発生応力も増加している．ただし，可動レー

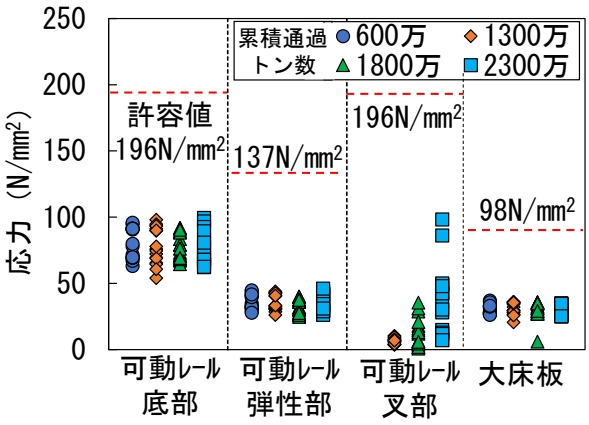
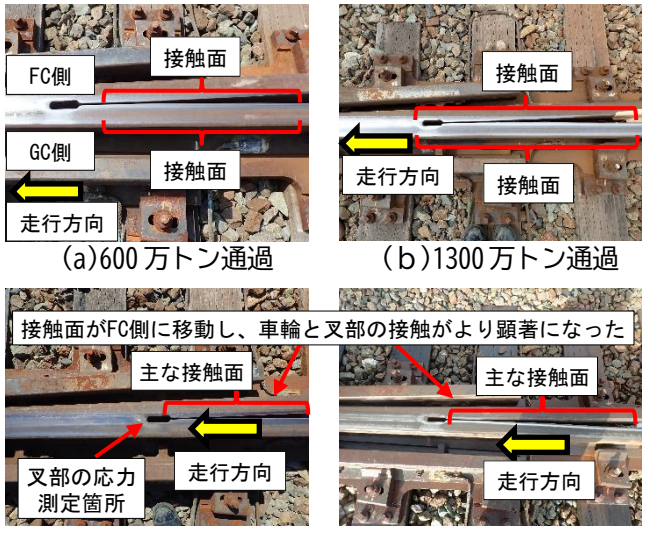


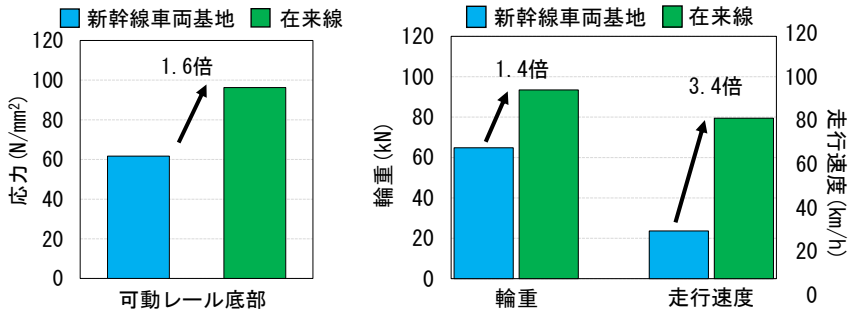
図 13　レール応力のピーク値の推移



(a)600 万トン通過　(b)1300 万トン通過

(c)1800 万トン通過後　(d) 2300 万トン通過

図 14　車輪とレール接触面の推移



(a)　発生応力　(b)　輪重と走行速度

図 15　過去の試験結果との最大値比較

ル底部の発生応力の増加率は 1.6 倍であり，これは，輪重の増加率に近く，走行速度の増加率と比較すると小さい結果であった．

4.2.3 追跡調査

(1) レールきず調査

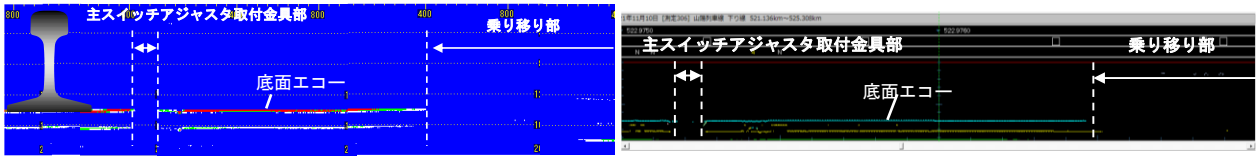
車両の繰返し通過によるレールきずの発生状況について追跡調査を実施した．本調査では，3 章で述べた新幹線車両基地での超音波探傷に関する検証試験と同様に，レール探傷車による超音波探傷検査を想定し，架台式超音波探傷器（PRD-300）を用いてクロッシング全体を検査した．レールきず調査の状況を図 16 に示す．なお，3 章で述べたように架台式超音波探傷器では探傷不能箇所となる可動レール乗り移り部，スイッチアジャスタロッド取り付け部については，手探傷による検査を行った．

調査の結果，累積通過トン数 2300 万トンにおいてもレールきずの発生は認められなかった．また，本調査では，営業線を走行するレール探傷車による探傷検査の適用可能性についても検証を行った．図 17 に架台式超音波探傷器の探傷画像と鉄道事業者から提供されたレール探傷車の探傷画像を併せて示す．図に示すとおり両者はよく一致しており，新幹線車両基地での検証結果も考慮すると，本クロッシングは架台式超音波探傷器で探傷できる箇所についてはレール探傷車による探傷検査が適用可能であると考えられる．



(a) 架台式超音波探傷器　　(b) 手探傷

図 16 レールきず調査の状況



(a) 架台式超音波探傷器による探傷画像　　(b) レール探傷車による探傷画像

図 17 架台式超音波探傷器とレール探傷車の探傷画像

(2) レール断面形状調査

車両の繰返し通過によるレール摩耗量を確認するため，レールの断面形状を測定した．測定は，図 18 に示す全てのまくらぎ位置を対象とした．なお，レール頭頂面中心からゲージコーナー側の曲率の開始点（頭頂面側）まで一様に摩耗していたことから，摩耗はゲージコーナー側の曲率の開始点における位置で判定し，その値は設計断面との鉛直方向の差とした．

図 19 に累積通過トン数 2300 万トン時におけるレール摩耗量を示す．追跡調査の結果，レールの最大摩耗位置およびその摩耗量は，クロッシングに接続する直近の普通継目部（まくらぎ No.0 で 1.0mm）であった．そのほかの箇所については，0.5mm 以下であり，可動レール先端付近においても摩耗量は 0.2mm 程度と小さいものであった．また，前節で述べた可動レール叉部付近の状態についても摩耗量は 0.4mm 程度と小さく，異常な摩耗等がみられるものではなかった．以上の結果，累積通過トン数の増加による顕著な摩耗進みは確認されず，レールの摩耗状態に問題はみられないことを確認した．

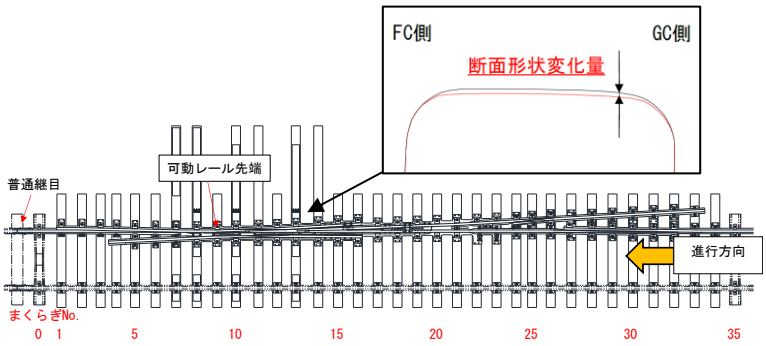


図 18　レール断面形状の測定位置

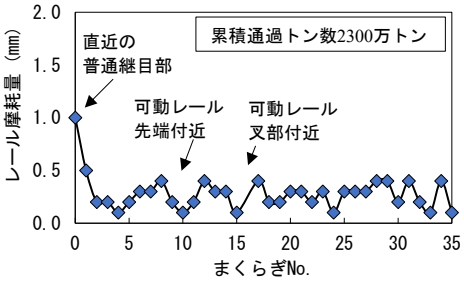


図 19　レール摩耗量

5．新幹線車両基地および在来線軌道における検証結果

新幹線車両基地および在来線軌道での各種性能確認試験の結果一覧を表 5 に示す．試験の結果，新幹線車両が 30km/h 以下で走行する条件下および在来線軌道で旅客・貨物列車が 80km/h 程度で走行する条件下において，各種性能に問題はみられなかった．また，在来線軌道において累積通過トン数 2300 万トンまでの範囲では，各種性能に問題はみられなかった．さらに，レール探傷車および手探傷による超音波探傷が可能であることを確認していることから，長期的にも一般的なレールと同様に保守管理を行うことが可能と考えられる．なお，本検証試験では分岐線側の走行試験は実施していないものの，分岐線側走行時は内軌側にガードレールがあり，可動レールには横圧が生じない構造となっているため，基準線側走行時の検証結果と同様になると考えられる．以上の結果を踏まえると，本クロッシングは新幹線本線において，全列車が停車する駅など低速・中速域までの車両走行においては実用上の性能を有するものと考えられる．

表 5　検証結果の一覧

試験	試験項目	検証結果
新幹線車両基地での試験敷設	転換試験	・転換時に各部材に発生する力・応力は各部材の許容値・許容応力以下
	車両走行試験 （部材応力測定）	・新幹線車両が走行速度約30km/h以下で走行する条件下において，発生する応力は部材の許容応力値以下
	超音波探傷に関する検証試験	・一般区間と同様に頭頂面からの超音波探傷が可能
在来線軌道での試験敷設	挙動確認試験 （部材応力測定）	・在来線の走行速度約80km/hの線区で累積通過トン数2300万トン通過時においても発生する応力は部材の許容応力値以下
	レール探傷探傷	・累積通過トン数2300万トン通過時においてもレールきずは無し ・在来線のレール探傷車で一般区間と同様に探傷可能であることを確認
	レール摩耗測定	・継目を除くクロッシングの摩耗量は0.5mm以下であり，異常な摩耗はみられないことを確認

6．まとめ

超音波探傷による検査の効率化と交換周期の延伸による保守コストの低減を目的とした新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの実用化に向けた検証として，新幹線の車両基地および在来線軌道で各種性能確認を実施した．これらの検証試験の結果を踏まえると，本クロッシングは新幹線本線において，高速走行区間を除き，全列車が停車する駅など低速・中速域までの走行区間への導入は問題ないものと考えられる．なお，本クロッシングの技術は新幹線以外でも適用できるものである．今後はこれまでの検討で得られた知見をもとに新幹線，在来線問わず本クロッシングの導入に向けた支援等を行う予定である．

謝　辞

本研究における各種走行試験の実施にあたり，西日本旅客鉄道株式会社殿に多大なるご支援を頂いた．この場を借りて厚くお礼申し上げる．

文　献

1）　及川祐也，寺下義弘，伊藤太初，松井元英，兼松義一，原田茂幸：新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの開発，鉄道総研報告，Vol.29，No.8，pp.5-10，2015
2）　日本鉄道電気技術協会：鉄道電気技術者のための信号概論　新幹線信号設備，p.50，2009
3）　佐藤泰生：分岐器の構造と保守－増補改訂版－，日本鉄道施設協会，p.410，2017

公益財団法人鉄道総合技術研究所
鉄道総研報告
RTRI REPORT
Vol.40, No.11, 2026

光切断法を用いた剛体電車線摩耗計測装置の開発

薄　広歩*　松村　周*　山下　主税**　清水　政利***

Development of a Wear-Measuring Device for Rigid Overhead Conductor Rails Using the Light Section Method

Hiromu SUSUKI　Itaru MATSUMURA　Chikara YAMASHITA　Masatoshi SHIMIZU

Wear measurement is essential for maintenance of rigid overhead conductor rails. In some cases, issues such as reduced measurement accuracy from advancing wear or an inability to conduct continuous and automatic measurement may arise. Therefore, this report proposes a new non-contact continuous wear measurement device for rigid overhead conductor rails that acquires cross-sectional profile using the light section method. Using our newly developed algorithm, this device measures residual heights from the contact surface to both the fittings and the top surface of the rigid overhead conductor rail. We validated the performance of the proposed device through both static and continuous measurement tests.
キーワード：剛体電車線，摩耗，光切断法，ICP マッチング，断面形状，導電鋼レール

1. はじめに

架空式剛体電車線（以下，剛体電車線）は，地下鉄や狭小トンネル区間で採用されており，主に架台とイヤーでトロリ線を把持する方式と導電鋼レールの 2 種類に分類される．

トロリ線を把持する方式は，カテナリちょう架式電車線と異なりトロリ線に張力が印加されていないため，摩耗が進行してトロリ線の断面積が減少しても引張荷重による破断が生じない．そのため，原理的には摩耗が進行してもパンタグラフとトロリ線把持部が接触しなければ使用可能である．しかし，トロリ線のしゅう動面幅を計測して摩耗量を算出する現行の手法では，トロリ線直径の半分以上が摩耗した場合，摩耗が進行するほどしゅう動面幅が小さくなる，いわゆる反転現象が生じる（図 1）．このため，パンタグラフとトロリ線把持部が接近する前の早い段階でトロリ線の張替えが実施されることがあり，設備の長寿命化の面で合理的ではない．さらに，摩耗面がレール面に対して傾斜していた場合も，本来のしゅう動面幅よりも小さく計測され，本来の摩耗量より小さく見積もられるという課題がある．また，円断面ではない梯形トロリ線が使用されている線区も多数あり，この場合もしゅう動面幅を計測して摩耗量を算出する手法を適用することは困難である．

導電鋼レールを使用する方式では，しゅう動面からレール上面までの「残存高さ」を手計測し，これを摩耗の計測値としている．しかし，カテナリ式電車線やトロリ線を把持する方式のように連続的な自動計測をする技術がないため，係員の手による定点測定が行われており，局部摩耗箇所や摩耗が著しく進行している箇所を見逃す恐れがある．

以上のように，剛体電車線においては，トロリ線把持方式・導電鋼レール方式のいずれにおいても摩耗計測精度や連続計測に関する課題がある．

一方，筆者らは既に，カテナリ式電車線のトロリ線を対象に，光切断法を用いてトロリ線断面形状を計測

＊　電力技術研究部　電車線メンテナンス研究室
＊＊　旧　電力技術研究部　集電管理研究室（現　総務部　人事）
＊＊＊　日本電設工業株式会社

することで，偏摩耗などレール面に対してしゅう動面が傾斜していた場合でも高精度な摩耗計測が可能な手法を提案している[1]．この手法を剛体電車線に適用すれば，剛体電車線の断面形状を取得し，剛体電車線に適した摩耗計測アルゴリズムを用いることで，高精度な摩耗計測が可能になると考えられる．

そこで本研究では，剛体電車線に適した摩耗計測アルゴリズムを構築し，図 2 のような装置構成により高精度かつ連続的に摩耗を計測可能な装置を開発したので報告する．

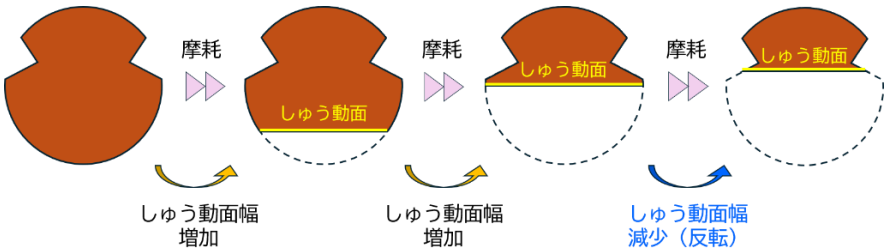


図 1　トロリ線しゅう動面幅計測の反転現象

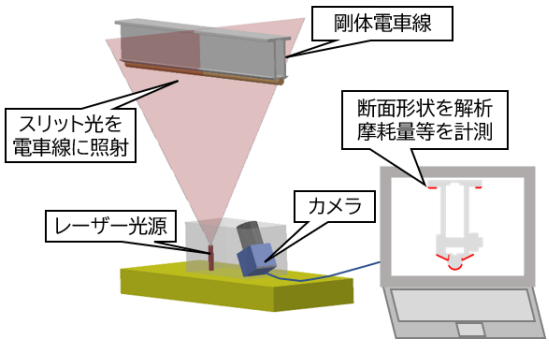


図 2　光切断法による剛体電車線断面形状の取得

2．剛体電車線摩耗計測装置の概要

本研究で開発した剛体電車線摩耗計測装置の概観を図 3 に，主な仕様を表 1 に示す．レーザー光源とカメラからなる装置本体と，データ収録用の PC，電源供給や制御信号の授受を行うアンプから構成される．本研究では狭小トンネル用アルミ架台トロリ線複合方式（以下，Π 形），T 形アルミ架台トロリ線複合方式（以下，T 形），導電鋼レール方式の 3 種類の剛体電車線に対応した摩耗計測アルゴリズムを開発し，本装置に実装した．3 章の図 4 に示す残存高さの計測精度はいずれの種類においても±0.5 mm 以内である．計測間隔は 30 km/h 走行時に最小 20 mm である．本装置は保守用車等に容易に搭載可能とするため，軽量・可搬型とした．

3．剛体電車線の摩耗計測指標

パンタグラフとトロリ線把持部の離隔を適切に把握するため，下記に示す残存高さを摩耗計測指標として設定した．

Π 形および T 形に対しては，パンタグラフとトロリ線把持部の離隔を評価するため，しゅう動面からトロリ線把持部下面の最下点までの残存高さを摩耗計測指標とする（図 4(a)，(b)）．

導電鋼レールに対しては，従来から保守係員が手計測により残存高さを評価してきた背景に基づき，これを踏襲してしゅう動面からレール上面までの残存高さを摩耗計測指標とする（図 4(c)）．

いずれの計測指標についても偏摩耗などのしゅう動面の傾斜に対応するため，残存高さの最小値を摩耗計測指標とした．

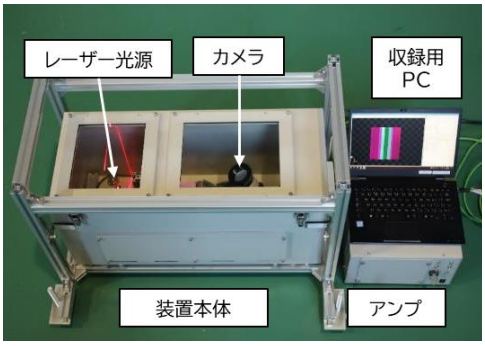
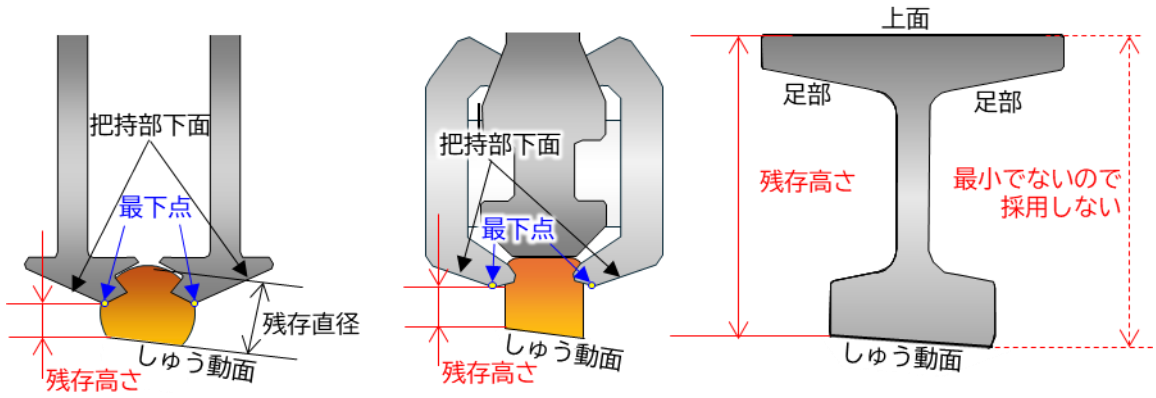


図 3　剛体電車線摩耗計測装置

表 1　剛体電車線摩耗計測装置の主な仕様

計測原理		光切断法
計測性能	計測精度	± 0.5 mm（残存高さ）
	計測間隔	20 mm（30 km/h 走行時）
対応剛体電車線方式		・狭小トンネル用アルミ架台トロリ線複合方式（Π 形） ・T 形アルミ架台トロリ線複合方式（T 形） ・導電鋼レール方式
装置寸法（本体）	幅	600 mm
	奥行	800 mm
	高さ	500 mm
	重量	約 25 kg



（a）Π 形　　（b）T 形　　（c）導電鋼レール

図 4　各剛体電車線の摩耗計測指標

4. 計測アルゴリズム

4.1　アルゴリズムの概要

本章では，光切断法で得られた剛体電車線の断面形状データから，3 章で設定した各剛体電車線の摩耗計測指標を計測するアルゴリズムについて述べる．アルゴリズムのフローチャートを図 5 に，残存高さ算出手法を図 6 に示す．ここでは，断面形状データの 1 つずつをフレームと呼び，動画として連続する画像を順に処理する．

はじめに，取得した断面形状データに含まれるノイズを除去する．断面形状データは点の集合であるが，多くの場合ノイズは孤立点（周囲のいずれの点からも一定以上の離隔がある点）であるため，これを除去する．ノイズ除去により，最も下にある点の集合をしゅう動面とみなすことができるため，これを基準として剛体電車線の断面全体を含むと考えられる領域を抽出できる．この領域内の点について，ICP（Iterative Closest Point）マッチングにより位置・角度を推定（4.2 節で後述）したのち，幾何学的に残存高さを算出（4.3～4.5 節で後述）する． 以下，フローチャートの各ステップ（ICP マッチング以降）についての詳細を述べる．

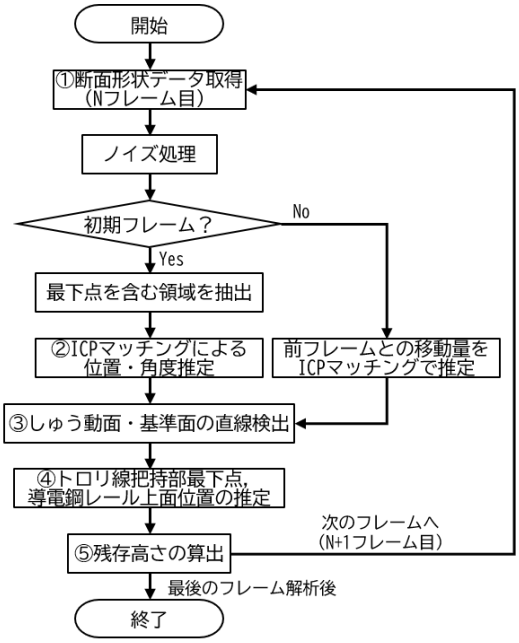
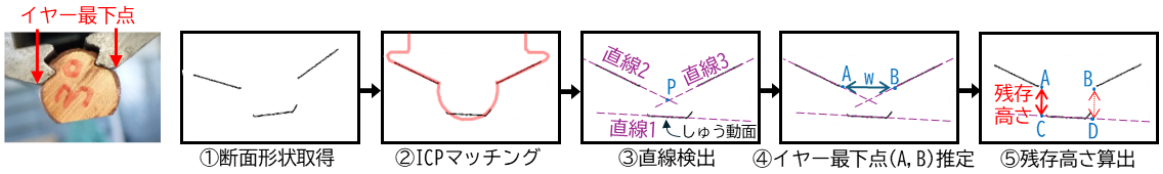
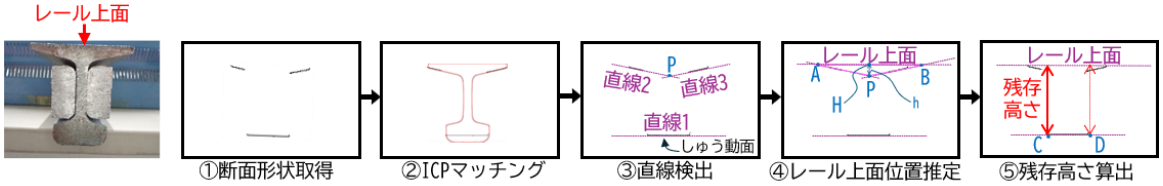


図 5　残存高さの計測アルゴリズム　フローチャート



(a) Π 形，T 形



(b) 導電鋼レール

図 6　各種剛体電車線の残存高さ算出方法

4.2　剛体電車線の位置・角度推定

カメラ画角内の剛体電車線の位置および角度は，カントや車体動揺，ジグザグ偏位により一定ではないため，前処理として，剛体電車線の位置および角度を補正する必要がある．

位置および角度補正には ICP マッチングを用いる．ICP マッチングとは撮影位置の異なる 2 つの点群データから撮影した点群同士の位置関係を推定し，対応点間の距離の合計が最小となるように反復計算して位置関係を推定し，点群を合成する処理である [2)]．本研究の場合，図 7 のように計測対象のテンプレートとして事前に準備した点群を測定点群に重ね合わせることで，テンプレートの移動ベクトル T および回転行列 R を計算し，求めた T，R から剛体電車線の位置および角度を補正する．また，T，R より，剛体電車線の架線高さ，偏位を求めることができる．

なお，ICP マッチングは，2 つの点群データのずれが大きい場合に局所解に陥りやすく，良好にマッチングできない場合がある．そのため本研究では，初期フレーム以外は，1 つ前のフレームと現在フレームの差

分（**ΔT**，**ΔR**）のみに着目することで，安定的なマッチングを実現している．

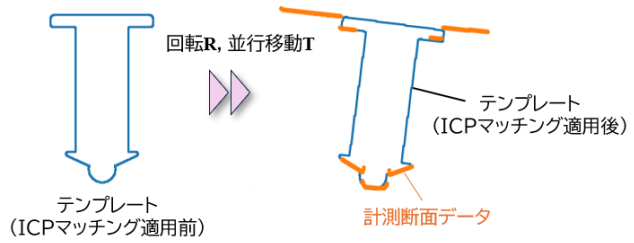


図 7　ICP マッチングによる位置・角度推定

4.3　しゅう動面・基準面の直線検出

次に，しゅう動面および基準面の直線検出を行う．ここでいう基準面は，4.4 節で後述するトロリ線把持部最下点またはレール上面の位置推定に利用するものであり，剛体電車線の種類により異なるが，寸法が既知かつ直線を多く含む箇所を選出している．Π 形，T 形はトロリ線把持部下面，導電鋼レールはレール足部についてそれぞれ直線を基準面として検出する．いずれの剛体電車線についても，図 6(a)③，図 6(b)③のように，しゅう動面付近の点群から検出した直線を直線 1，基準面付近の点群から検出した直線を直線 2，直線 3 とする．なお，新品状態に近い円形断面トロリ線では，しゅう動面付近の断面形状が曲線状となるため，直線 1 の近似精度が低下する場合がある．ただし，実際の使用状態ではパンタグラフとの接触によって速やかに平坦な摩耗面が形成されることから，摩耗の進行に伴い精度が向上する．

4.4　トロリ線把持部最下点，導電鋼レール上面位置の推定

次に，4.3 節で検出した基準面の直線 2，直線 3 からトロリ線把持部最下点（Π 形，T 形）もしくは導電鋼レール上面の位置を推定する．

Π 形，T 形については，寸法上の左右のトロリ線把持部最下点間の距離を w（既知の値）とする．図 6(a)③のように直線 2，直線 3 の交点を P とし，点 A，B がそれぞれ直線 2，直線 3 上かつ AB の長さが w となるような二等辺三角形 ABP をとる．このときの A，B がトロリ線把持部最下点となる．

導電鋼レールについては，寸法上のレール足部の最大高さを h とする．図 6(b)③のように直線 2，直線 3 の交点を P とし，P から AB に下ろした垂線の足を H とする．点 A，B がそれぞれ直線 2，直線 3 上かつ PH の長さが h となるような二等辺三角形 ABP をとる．このときの AB を結んだ線分がレール上面位置に相当する．

4.5　残存高さの算出

はじめに Π 形および T 形について，しゅう動面からトロリ線把持部までの残存高さを算出する方法について述べる．図 6(a)⑤のように点 A，B から線分 AB の垂線を引き，直線 1 と交わる点を C，D とする．AC と BD を比較し，小さいほうが求める残存高さである．なお，ツイン架線の場合は左側のトロリ線に対しては AC，右側のトロリ線に対しては BD を残存高さとする．

次に導電鋼レールについて，しゅう動面からレール上面までの残存高さを算出する方法について述べる．直線 1 に近接する測定点をしゅう動面とし，その両端の点を C，D とする．線分 AB（レール上面）と C，D の距離を比較し，小さいほうが求める残存高さである．

5. 定置における精度検証試験

5.1 試験条件

4 章で提案した計測アルゴリズムの計測精度を検証するため，図 8 に示す計測系により表 2 に示す条件で試験を行った．図 3 に示した装置と概ね同様の構成である．レーザー光源とカメラをレール長手方向の水平距離 650 mm で配置し，高さ約 0.9 m（カメラ基準）の位置に剛体電車線を設置した．レーザー光源とカメラは剛体電車線直下および偏位方向に約 140 mm ずらして設置し，偏位による計測精度への影響を検証した．計測対象は Π 形，T 形，導電鋼レールの 3 種類とした．

Π 形については摩耗を模擬した切削トロリ線（GT-M-SN-170）を架設した．残存直径やしゅう動面の傾斜，偏位が計測精度に及ぼす影響を検証するため，寸法値との誤差を比較した．T 形は新品の梯形断面トロリ線を架設し，手計測（ノギスでの計測）との誤差を比較した．導電鋼レールは摩耗のない新品のものを架設し，寸法値との誤差を比較した．

なお，各試験条件について静止状態で断面形状を 1000 枚撮影し，データのばらつきを評価した．

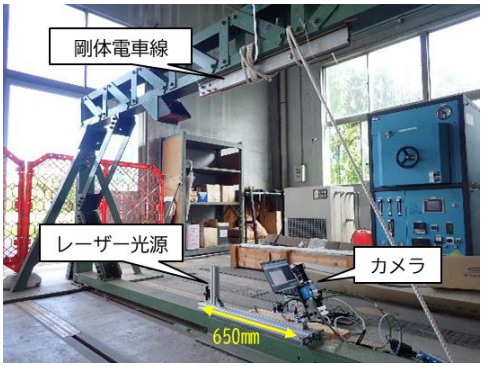


図 8　定置計測試験の概観

表 2　定置計測試験における試験条件

全般	試験対象	Π 形	摩耗模擬トロリ線を架設 残存直径：6.3 mm～15.3 mm，1 mm 刻み （残存高さ：0.9 mm～9.9mm，1 mm 刻み） しゅう動面の傾斜角：0°および 6°
		T 形	梯形トロリ線(新品)を架設
		導電鋼レール	新品を架設
	電車線高さ	約 900～1000 mm（カメラ基準）	
	電車線偏位	0mm(カメラ直上)および約 140mm	
カメラ	計測周波数	750 Hz	
	露光時間	1200 μs	
レンズ	焦点距離	50 mm	
	絞り	F1.8（開放）	
レーザー光源	波長	660 nm	

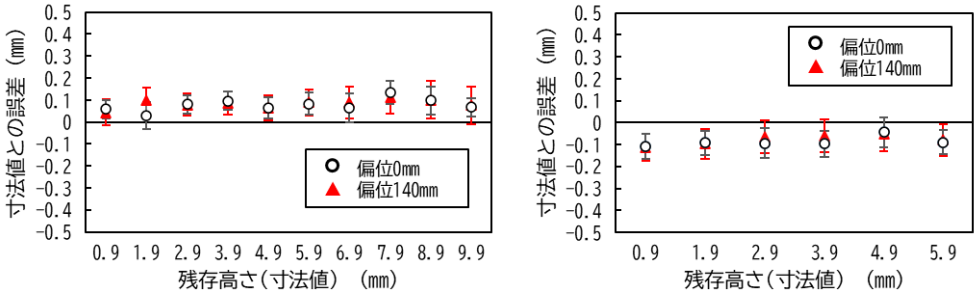
5.2 試験結果

Π 形について，残存高さの寸法値に対する計測誤差を図 9 に示す．エラーバーは標準偏差を σ としたときの誤差平均±3σ を表す．従来手法では反転現象により計測できなかった摩耗領域である，寸法上の残存高さ 0.9 mm（残存直径 6.3 mm に相当）や 1.9 mm（残存直径 7.3 mm に相当）の場合を含め，しゅう動面の傾斜の有無や剛体電車線の偏位によらず±0.2 mm の精度で計測できていることがわかった．これにより，新

たな摩耗評価指標と本研究で開発したアルゴリズムを適用すれば，従来，反転現象により計測困難だった摩耗領域においても高精度な計測が可能であることが確認できた．また，4.3 節においてしゅう動面の直線検出精度が懸念された新品状態に近い条件（残存直径 15.3 mm に相当）に対しても±0.2 mm の精度で計測できることを確認した．

T 形について，図 10 より，偏位によらず手計測との誤差は最大 0.3 mm 程度であることがわかる．誤差の理由は，新品時の梯形トロリ線はしゅう動面付近の断面形状が緩やかな曲線であり，しゅう動面の直線検出にばらつきが生じたためだと考えられる．したがって，摩耗が進むほどしゅう動面の直線成分が増大するため精度が向上すると考えられる．

導電鋼レールについて，図 11 より，偏位によらず寸法値との誤差±0.5 mm 以内で計測可能であることが確認できた．誤差の理由は，T 形と同様に新品のレール頭頂面の断面形状が緩やかな曲線であるためだと考えられる．



（a）しゅう動面傾斜 0°　　（b）しゅう動面傾斜 6°

図 9　残存高さの計測値と寸法値（IT形）の誤差

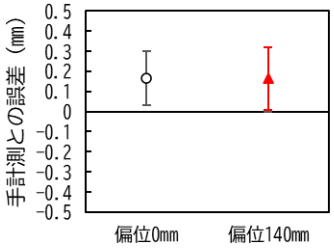


図 10　残存高さの計測値と手計測との誤差（T 形）

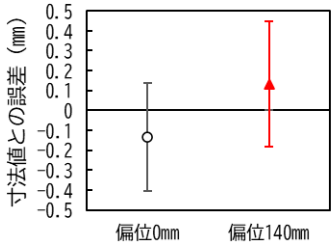


図 11　残存高さの計測値と寸法値（導電鋼レール）の誤差

6．営業線における連続計測試験

導電鋼レールが導入されている営業線において，保守用車の作業台に開発した剛体電車線摩耗計測装置を設置して連続測定を実施した（図 12）．保守用車の走行速度は最大 30 km/h，計測間隔は 20 mm 一定として，導電鋼レールのレール面上高さ，軌道中心からの偏位および残存高さを計測した．

図 13 に計測結果を示す．図 13 は 20 mm 間隔で導電鋼レールの摩耗が進行している箇所の各計測値を連続的にプロットしたものである．なお，高さ・偏位の計測基準点は，導電鋼レールの取得形状の最下点である．図 13 内の定点（赤丸箇所）での手計測との誤差は 0.4 mm であり，実用上十分な精度であることを確認した．



図 12　営業線での計測試験の概観

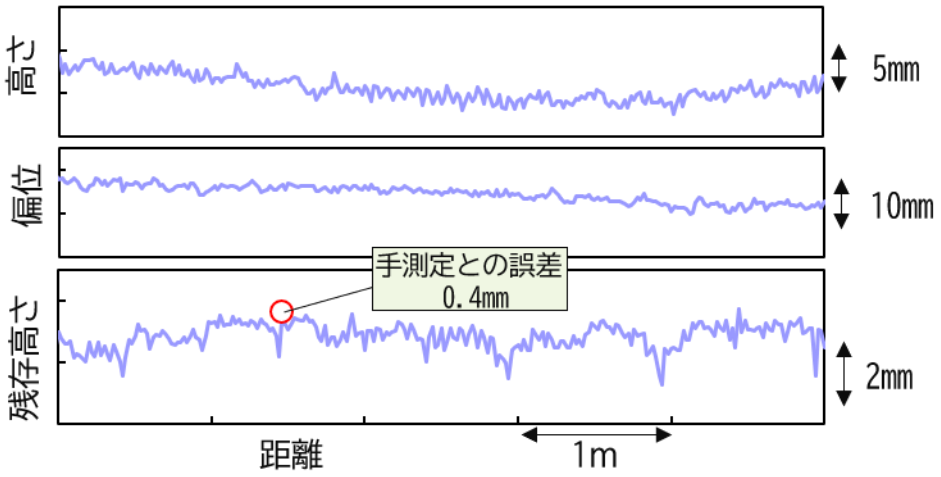


図 13　営業線での計測試験の結果

7. まとめ

剛体電車線の摩耗が進行しても，高精度かつ連続的に摩耗を自動計測可能とするため，剛体電車線の残存高さを摩耗計測指標とし，これを光切断法により取得した断面形状データから計測可能なアルゴリズムを構築した．この手法を用いて定置試験を実施した結果，摩耗の進行具合やしゅう動面の傾斜の有無，偏位によらず残存高さの誤差を±0.5 mm 以内で計測可能であることを確認した．さらに，営業線での計測試験により，剛体電車線の高さ，偏位，摩耗が連続的に計測可能であること，かつ，手測定との摩耗計測誤差が 0.4 mm であり，高精度に計測可能であることを確認した．

本装置は鉄道総研と日本電設工業株式会社との共同研究により開発されたものである．

文　献

1)　薄広歩，根津一嘉，松村周：高速測定および外乱光に対応した光切断法によるトロリ線摩耗形状測定手法の検討，電気学会 交通・電気鉄道研究会，TER-19-013，pp.1-6，2019
2)　増田健：ICP アルゴリズム，研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア（CVIM），情報処理学会研究報告，Vol.2009-CVIM-168，2019

公益財団法人鉄道総合技術研究所
鉄道総研報告
RTRI REPORT
Vol.40, No.11, 2026

鉄道分野の乗り心地評価・振動測定に関する欧州規格の概要と改訂動向

田頭　尚大*　　渡部　貴浩*　　鈴木　浩明**

Overview and Revision Trends of the European Standard on Evaluation and Vibration Measurement in the Railway Sector

Takahiro TAGASHIRA　　Takahiro WATANABE　　Hiroaki SUZUKI

This paper provides an overview of the methods used in Europe to assess ride comfort, focusing on EN 12299, the European standard that specifies the methods for evaluating the ride comfort of railways and measuring vibration. It also reviews recent developments in the revision of the standard. Particular attention is given to the 2024 revision of EN 12299. This paper outlines the main differences between the 2009 and 2024 editions and summarizes the modifications introduced in the latest version.
キーワード：振動，乗り心地，EN 12299，ISO 2631，国際標準化，欧州規格

1. はじめに

鉄道車両に生じる揺れや振動は，乗客の快適性や安全性に影響する極めて重要な要素である．鉄道や自動車を対象とした工学研究では，揺れや振動に対して人が感じる快―不快の感覚を狭義の乗り心地（振動乗り心地）と定義しており[1]，乗り心地を的確に定量評価する手法が様々に検討されている．1974 年に ISO（国際標準化機構）が初版を発行した国際規格 ISO 2631 は，振動の周波数によって知覚しやすさが異なることに着目し，全身振動を等しく感じる大きさを周波数ベースでまとめた曲線（等感覚曲線）をもとに振動に対する人の感覚の定量評価手法を提示した[2]．当時の日本と欧州では，この手法を鉄道の乗り心地評価に応用するための検討が進められ，日本では「乗り心地レベル」と呼ばれる独自の評価手法[3]が，欧州では UIC（国際鉄道連合）の研究に基づく別の評価手法が開発された．UIC が開発した評価手法は日本において一般的な手法ではないが，鉄道の乗り心地評価・振動測定に関する欧州規格 EN 12299[4][5]として欧州地域内外で広く使用されており，今後の乗り心地評価の国際標準化における中核を担う可能性も指摘できる．そのため，本稿では EN 12299 に規定された内容を中心として，欧州における乗り心地評価の概要と規格の動向を解説する．なお， EN 12299 の前身である欧州暫定規格 ENV 12299[6]や ISO 2631 の改訂版にあたる ISO 2631-1[7]の内容については，鉄道総研報告 2002 年 1 月号の記事[8]で既に解説したところではあるが，当時から四半世紀が経った昨今における新たな動きとして 2024 年に EN 12299 の改訂がなされたため，本稿では改めて乗り心地評価の国際標準化に関する解説記事を執筆した次第である．

2. EN 12299 の成立経緯と改訂動向

2.1　EN 12299 とは

EN 12299 は，CEN（欧州標準化委員会）が定めた鉄道分野の乗り心地評価手法と振動測定法を扱う欧州規格である．CEN とは，欧州を中心とした 34 か国の国家標準化団体が所属する委員会であり[9]，様々な分

＊　　人間科学研究部　快適性工学研究室
＊＊　　人間科学研究部

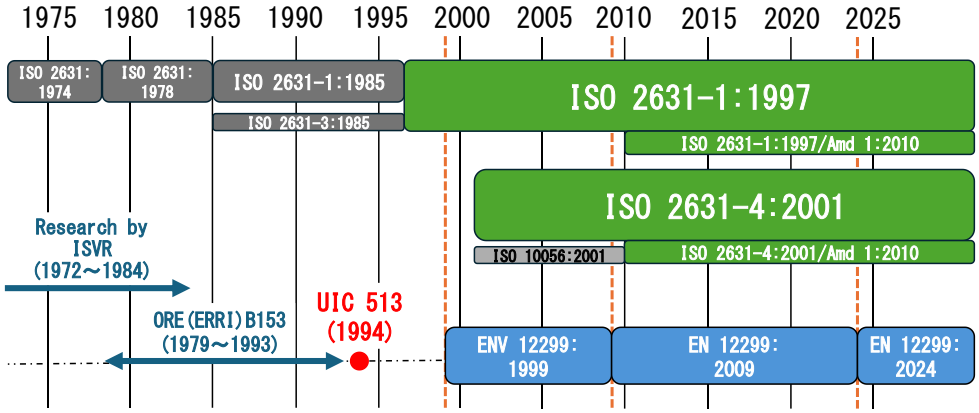


図 1　EN 12299 の改訂動向と関連する ISO 規格および乗り心地研究の動向

野における製品・材料・サービス・プロセスに関する欧州規格や技術文書を開発するプラットフォームを提供している．欧州規格に記載する内容の検討は CEN の TCs（技術委員会）が実施しており，EN 12299 は CEN/TC 256（Railway application）が担当している [10]．CEN の加盟国は，欧州規格を国家規格とすることが義務化されており，EN 12299 は CEN に加盟している 34 か国に共通の国家規格として採用されている．

2.2　EN 12299(ENV 12299)の成立経緯・改訂動向

EN 12299 および関連する ISO 規格の改訂動向と，主な研究機関による乗り心地研究との時間的関連性を図 1 に示す．1974 年に発行された ISO 2631 の快適性評価は，あくまで振動による健康被害を評価する手法の応用として定義されており，等感覚曲線の定義域には鉄道車両の主要な共振周波数が含まれていなかった．当時の UIC は ORE（UIC 所管の試験研究所）に B 153 委員会と呼ばれる検討委員会を設置し，ISO 2631 やその改訂版として提案された内容を鉄道分野の乗り心地評価に適用する方法を検討した．B 153 委員会は, ISO 2631 の等感覚曲線が 0.5 Hz～5 Hz の範囲における乗り心地を正しく評価できないと判断した上で，サウサンプトン大学の ISVR（音響振動研究所）に委託して独自の等感覚曲線を作成し [11]，ISO 2631 に準じた新たな乗り心地評価手法を提案した．この手法は ISO 2631 の改訂案に採用されるとともに，ORE の後継団体である ERRI（欧州鉄道研究所）による検討を経て，1994 年に UIC 513[12] と呼ばれるリーフレットにまとめられた．この 5 年後の 1999 年に発行された欧州暫定規格 ENV 12299 が EN 12299 の前身である．なお，ENV 12299 は ISO 2631-1 を鉄道に適用させるガイドラインを示した ISO 規格 ISO 2631-4[13] とは別物である．ENV 12299 は 2009 年に欧州規格 EN 12299 に昇格するまで使用され，EN 12299 は 2009 年の初版発行から改訂されていなかったが，2024 年に 15 年ぶりの改訂がなされた．以降の各章では，2009 年版を EN 12299:2009，2024 年版を EN 12299:2024 と表記する．なお，現在は 2024 年に発行された EN 12299:2024 が有効であるが，2025 年 5 月から 2024 年版の修正草案に関するプロジェクトが始動しており，将来的には 2024 年版の修正版として EN 12299:2024/prA1 が提案される可能性がある [14]．

3．EN 12299:2024 の概要と改訂内容

本章では，EN 12299:2024 の各章および付録に記載された内容と改訂事項を抜粋して概説する．EN 12299:2024 の章構成（付録を除く）と改訂内容を表 1 に示す．EN 12299:2024 の章構成は EN 12299:2009 から概ね変更されていないが，規格の適用範囲に関する表現や各評価指標の算出方法などが部分的に見直されたとともに，緩和曲線および特異な揺れや振動に対する評価手法について内容の拡充が認められる．

表 1　EN 12299:2024 の章構成（付録を除く）と改訂内容

章No.	内容	主な改訂内容（EN 12299:2009との比較）
1	適用範囲	• 本文全体の書き換え
2	引用規格	• EN 15663を新たに引用、付録Dで参照
3	言葉の定義	• 「Ride comfort」等の定義の変更・追加
4	記号・単語・略語	• P_{CT}に関する改訂内容に関連して記号が追加
5	概要	• 快適性評価と車両評価における各指標の有効性判断に関する根拠が追記、P_{CT}の利用性が拡大
6	実効値による乗り心地評価（N_{MV}など）	• 定義式に変更なし、加速度の実効値を算出する際のオーバーラップを変更（5秒→原則1秒以下）
7	緩和曲線における乗り心地評価（P_{CT}）	• 定義式に変更なし、適用範囲や記述が拡充 • 新たに「sliding P_{CT} over 3 s（$P_{CT_3s}(t)$）」としての利用について言及
8	特異な揺れや振動に対する乗り心地評価（P_{DE}）	• 定義式に変更なし、指標が有効となる適用条件を明記
9	評価尺度・解釈	• 既存の評価尺度は更新なし、解釈に関する記述が追記

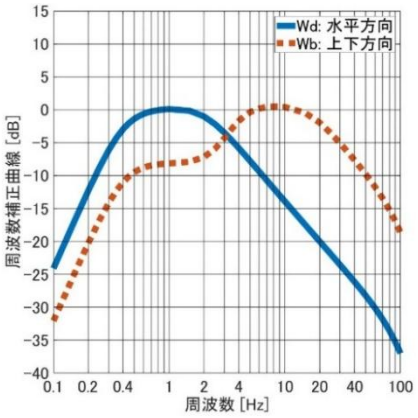


図 2　N_{MV} 算出に使用する周波数補正曲線

3.1　適用範囲

EN 12299 の適用範囲は 1 章に記載されている．2024 年の改訂では，1 章の本文全体が書き換えられ，EN 12299:2009 と EN 12299:2024 では規格の適用範囲が変更されている．2009 年版において，EN 12299 は「車体の運動が乗り心地に与える影響と乗り心地に関する車両評価を定量化する」規格であり，揺れや振動が乗客に与える影響を評価する規格として位置づけられた．2024 年版においても，乗り心地の定量評価は重視されているものの，「乗客の乗り心地評価を予測可能，再現可能」にすることを目標とすることが加筆されている．また，2009 年版では，EN 12299 が一般的な旅客用の鉄道車両に適用される規格でありながら，機関車，地下鉄，路面電車などの他の鉄道車両におけるガイドとして使用できることが記載されていた．一方，2024 年版では，適用範囲が「ヘビーレール（Heavy Rail）」を走行する車両に限定され，対義的な「ライトレール（Light Rail）」に含まれる路面電車などには適用できないことが明確化された．

3.2　EN 12299 が定める乗り心地評価指標

EN 12299:2024 の 5 章には，EN 12299 が規定する 8 つの乗り心地評価指標の概要が記載されている．2024 年の改訂において各評価指標の定義式は変更されなかったが，一部の指標の算出方法や車両評価における各指標の利用性に関する記述などには若干の変更がみられる．

3.2.1　実効値による乗り心地評価（N_{MV}）

乗り心地を含む全身振動の評価では，振動の周波数による人の知覚しやすさを考慮して振幅を補正する関数（周波数補正曲線）を定義し，人体が曝露する振動の加速度に周波数補正曲線を乗じた波形の実効値を評価指標に活用する手法が一般的である．ISO 2631-1:1997 では，評価対象となる人体の向きを基準とした前後（x）・左右（y）・上下（z）の座標軸を定義し，各軸方向における補正加速度の実効値に基づいて快適性を評価することが規定されている．EN 12299 ではこの手法を改良し，車体床面の「中央」または「車端」を原点とする前後（x）・左右（y）・上下（z）の座標軸を定義し，5 分間の走行で取得した各軸の補正加速度の実効値を 1 つの代表値に集約して評価する指標（N_{MV}）を規定している．N_{MV} の定義式（式(1)）にある「a_{XP95}^{Wd}」は，前後（x）方向の加速度を周波数補正曲線（Wd）で補正した時系列データを 5 s のウィンドウ幅でオーバーラップさせながら実効値を算出し，5 分間の算出値に対する 95 パーセンタイル値を求めることを示す記号である．N_{MV} は UIC 513 にも記載がある評価指標であり，EN 12299:2009 に至るまで UIC 513 の算出方法が一切の変更なく引き継がれてきた．しかし，2024 年の改訂により，実効値算出時にオーバーラップさせるステップが従来の 5 s から 1 s 以下（EN 12299:2009 で取得したデータとの互換性が必要な場合は 5 s）に変更されている．なお，N_{MV} は車両評価に適用可能な標準式であり，EN 12299 は N_{MV}

に類する評価指標として N_{VD}（立位乗客を評価する詳細式），N_{VA}（座位乗客を評価する詳細式），補正加速度の実効値の時系列データに相当する C_{Cx}，C_{Cy}，C_{Cz} を規定しているが，本稿では省略する．

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{\left(a_{XP95}^{w_d}\right)^2 + \left(a_{YP95}^{w_d}\right)^2 + \left(a_{ZP95}^{w_b}\right)^2} \tag{1}$$

N_{MV} の算出に使用する周波数補正曲線を図 2 に示す．EN 12299 では，水平方向の床面加速度に対する補正曲線を W_d，上下方向の床面加速度に対する補正曲線を W_b と定義している．これらの補正曲線は，ISO 2631-1:1997 で定義されている補正曲線（水平方向: W_d，上下方向: W_k）に対応しているものの，W_k と W_b の形状は異なる．ISO 2631-1 や ISO 2631-4 では，W_b を W_k の代わりに使用することを許容しているが，ISO 2631-4 に図示された W_b は 1987 年に発行された英国規格 BS 6841 で定義された W_b であり，EN 12299 の W_b とは形状が若干異なる．

3.2.2 緩和曲線における乗り心地評価（P_{CT}）

EN 12299 は緩和曲線通過時における車両の乗り心地を評価する指標として，P_{CT} と呼ばれる独自の指標を定義している．P_{CT} はウィンドウ幅 1 s の移動平均を求めて平滑化した緩和曲線通過時の車体左右方向の振動加速度（$\ddot{y}_{1s}$）・ジャーク（$\dddot{y}_{1s}$）・ロール角速度（$\dot{\varphi}_{1s}$）の最大値をパラメータとする回帰式（式(2)）で定義され，算出値は緩和曲線を走行した際の乗り心地に対して不満をもつ乗客の割合（%）に相当する．式(2)の A～E は乗客の姿勢（立位・座位）ごとに定義される定数である．P_{CT} 算出時に代入する振動加速度の最大値は，緩和曲線の始点から終点に至ったのち 1.6 s 経過するまでの最大値であり，ジャークの最大値は，緩和曲線の始点に至る 1 s 前から終点に至るまでの最大値である．なお，P_{CT} は欧州規格が独自に採用した規格であるため，前述した ISO 規格には記載されていないが，乗り心地に関する欧州の複数の論文にて曲線通過時の乗り心地を評価する指標として使用された例があり [15)16)]，少なくとも欧州では一般的な評価指標であると考えられる．

$$P_{CT} = 100 \cdot \{\max[(A \cdot |\ddot{y}_{1s}|_{max} + B \cdot |\dddot{y}_{1s}|_{max} - C); 0] + (D \cdot |\dot{\varphi}_{1s}|_{max})^E\} \tag{2}$$

P_{CT} の有効性は，緩和曲線が 2 s 以上続く区間の乗り心地評価で検証された経緯がある．そのため，2009 年版では，2 s 未満の緩和曲線を評価できる指標はないとされていた．一方で，2024 年版では，2 s 未満の緩和曲線の乗り心地評価に P_{CT} を適用する際の有効性に関する判断を試験実施者の裁量に委ねている．また，2024 年の改訂から，P_{CT} をウィンドウ幅 3 s で連続的に算出する時系列指標として応用した「sliding P_{CT} over 3 s（P_{CT}_3s(t)）」という指標が定義されており，曲率の変化による乗り心地評価を連続的に測定できる手法として適用方法などが記載されている．従来の P_{CT} の適用には緩和曲線の始点・終点に関する事前調査が必須であるが，P_{CT}_3s(t)はあらゆる区間の乗り心地評価に適用可能な指標として定義されているため，線路形状に関する事前調査は不要である．

3.2.3 特異な揺れや振動に対する乗り心地評価（P_{DE}）

走行中の鉄道車両は，補正加速度の実効値として振動波形を平滑化すると乗客の不満を適切に尺度化できない特異な揺れや振動を生じることがある．ISO 2631-1:1997 では，振動加速度の波高率（振動の実効値に対するピーク値の比率）が大きい区間において，補正加速度に実効値とは異なる処理を行う手法を記載しているが，EN 12299 では P_{DE} と呼ばれる独自の指標を定義している．P_{DE} は車体左右方向（y）の振動加速度から算出するウィンドウ幅 2 s の P-P 値（Peak-to-peak value，$\ddot{y}_{pp}(t)$）と，同じくウィンドウ幅 2 s の移動平均（$\ddot{y}_{2s}(t)$）を式(3)に代入して求める時系列指標であり，算出値は P_{CT} と同様，走行時の乗り心地に対

して不安をもつ乗客の割合（%）に相当する．式(3)の a～c は乗客の姿勢（立位・座位）ごとに定義される定数である．2009 年版において，P_{DE} は橋梁・分岐器・単一曲線などを含むあらゆる試験区間に適用可能との記載があった．しかし，P_{DE} はカント不足の顕著な曲線区間における乗り心地評価指標として実証された経緯があるため，2024 年版では分岐器・緩和曲線・直線区間で算出した P_{DE} と乗客の快適性との関連は未検証であることが明記されている．特に，直線区間では車体左右方向（y）の振動加速度が小さいため，P_{DE} を直線区間の乗り心地評価に用いることは不適とされている．

$$P_{\mathrm{DE}}(t) = 100 \cdot \max\left[a \cdot \ddot{y}_{\mathrm{pp}}(t) + b \cdot |\ddot{y}_{2\mathrm{s}}(t)| - c; 0\right] \tag{3}$$

3.3 EN 12299 の付録における主な改訂点

EN 12299 の付録には，振動測定に必要な座標系の定義，周波数補正曲線の定義，車両評価，試験報告書の要求事項，シミュレーションの適用，編成車両の評価などに関する詳細が記載されている．2024 年版における付録の構成と 2009 年版からの遷移および改訂内容を表 2 に示す．本節では，2024 年の改訂により新設された付録として，車両性能を規定する際の仕様を定めた付録 D と，乗り心地評価におけるシミュレーションの適用指針を定めた付録 J について概説する．

表 2 EN 12299:2024 の付録の構成と 2009 年版からの遷移および改訂内容

新No.	内容	旧No.	主な改訂内容（EN 12299:2009との比較）
A	座標系の定義	A	
B	測定方法	B	• 公差の追加などの軽微な追記
C	周波数補正曲線	C	• 記号の変更（補正曲線の形状は変更なし）
D	乗り心地に関する車両性能	新規	• 乗り心地に関する車両性能を規定する際に仕様として期待される項目に関して、基本的な概念や一般要件を解説
E	車両評価	E	• 車両評価に有効な指標の追加、品質評価などの項目の具体化
F	試験報告書の仕様	D	• 報告書に記載する項目の追加
G	乗り心地評価を乗客の反応に基づいて行う際のガイドライン	F	
H	実効値の算出フロー	新規	• 2009年版の付録Gに対応、補正曲線の適用方法の明確化
I	パラメータ･算出式一覧	H	
J	シミュレーション適用指針	新規	• 乗り心地評価におけるシミュレーションの適用指針
K	編成車両の評価方法	新規	• 編成全体の乗り心地評価を行う際にN_{MV}を簡素化する方法

3.3.1 車両性能を規定する際の仕様（付録 D）

付録 D は乗り心地に関する車両性能を規定する際の仕様に含まれることが期待される項目を規定しており，2024 年の改訂で新設された付録である．付録 D によると，ある車両を走行させたときの乗り心地の程度は，車両の条件のみで推定できるものではなく，車両が走行する軌道の状態を考慮する必要がある．そのため，車両性能を規定する際には，軌道の状態として試験区間，軌道の幾何学的品質，車輪レール間の接触幾何学に関する事項，レールの湿潤度合を定めなければならない．また，車両に関しては EN 15663[17]に則った積載条件，車両状態，製造状況を定める必要があると述べている．さらに，一般仕様として規定すべき内容として，快適性の評価手法，測定する編成数や車両数，達成水準，結果の示し方，評価方法（実測またはシミュレーション）を挙げている．

3.3.2 シミュレーションの適用指針（付録 J）

2024 年の改訂にて，乗り心地評価におけるシミュレーション適用指針を示す付録 J が新設された．付録 J によると，シミュレーションは乗り心地予測の正確性とパラメータの変更・固定が容易であることが利点であるが，一般に車両モデルの剛性・減衰・振動モードが初期段階の推定に依存することや，高周波振動や

空気力学的効果を模擬しきれない点に精度的な限界があると述べている．

鉄道分野におけるシミュレーションに関して最先端の内容を扱う欧州規格は EN 14363[18]であり，検証プロセスを含むシミュレーションの利用要件が規定されている．また，EN 13848-1[19]では軌道変位を評価するための波長範囲が規定されており，乗り心地に影響する車体の動揺をシミュレーション上で模擬するためには車両の最高速度に応じた波長の軌道変位に留意しなければならないと述べている．

4．おわりに

本稿では，欧州の乗り心地評価手法に焦点を当て，EN 12299 の成立経緯と改訂動向について概説するとともに，EN 12299 に記載された乗り心地評価手法や付録の概要について，2024 年版における改訂内容を中心に解説した．2024 年の改訂では，N_{MV} の導出過程に関する軽微な変更や，EN 12299 独自の評価指標に関する適用範囲や評価結果の解釈に関する内容が具体化された．また，付録構成の見直しに伴い，シミュレーション適用指針などの新たな内容が追記された．鉄道に関する欧州規格は欧州以外の国や地域の標準として活用される事例もあり，欧州規格の内容が ISO などの国際規格として採用されることも少なくない．本稿で解説した EN 12299 は，日本の乗り心地評価体系と比較して国際的な影響力が大きい規格であるとともに，昨今の改訂を経て評価指標の適用に関する記述が拡充され，規格の利用性が向上している．日本の乗り心地評価は現行の ISO 規格や EN 12299 が定める手法との乖離が大きいため，今後とも EN 12299 などの規格の動向を踏まえて乗り心地評価に関する国際標準化の流れに留意しつつ，日本と欧州における評価手法の本質と利用性を踏まえた適切な対応をもって日本の鉄道技術の発展に貢献する所存である．

文　献

1） 鈴木浩明：鉄道車両の乗り心地評価法，騒音制御，Vol. 31，No. 5，pp. 362-367，2007
2） ISO：Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, ISO 2631:1974, 1974.
3） 日本鉄道技術協会：乗心地管理基準に関する研究報告書，1980
4） CEN：Railway applications -Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation, EN 12299:2009, 2009.
5） CEN：Railway applications -Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation, EN 12299:2024, 2024.
6） CEN：Railway applications - Ride comfort for passengers - Measurement and evaluation, ENV 12299:1999, 1999.
7） ISO：Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements, ISO 2631-1:1997, 1997.
8） 鈴木浩明，手塚和彦，高井秀之：鉄道車両の乗り心地評価法と国際標準化，鉄道総研報告，Vol. 16，No. 1，pp. 5-10，2002
9） CEN About CEN - CEN Communities：https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:5（参照日：2026 年 6 月 1 日）
10） CEN Enhancing Railway Passenger Ride Comfort with EN 12299:2024：https://www.cencenelec.eu/news-events/news/2024/eninthespotlight/2024-12-16-railway_en-12299-2024/（参照日：2026 年 6 月 1 日）
11） ORE B153：Application of the ISO 2631 standard to railway vehicle: Vibratory comfort: Drawing up weighting curves, 1986.
12） UIC：Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicle, UIC 513, 1994.
13） ISO：Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems, ISO 2631-4:2001, 2001.
14） CEN About CEN - Technical Work – CEN/TC 256 Work programme：https://standards.cencenelec.eu/ords/f?p=205:22:::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6237,25&cs=1F46B1B38C4340AA0BDE5B0A4BE5ADA20（参照日：2026 年 6 月 1 日）
15） Argyrios C. Zolotas and Roger M. Goodall：Improving the Tilt Control Performance of High-speed Railway Vehicle: an LQG Approach, IFAC Proceeding Volumes, Vol. 38, Issue 1, pp. 25-30, 2005.
16） Andrej Suchánek, Mária Loulová and Jozef Harušinec：Evaluation of passenger riding comfort of a rail vehicle by means dynamic simulations, MATEC Web of Conferences, Vol. 254, 03009, 2019.
17） CEN：Railway applications - Vehicle reference masses, EN 15663:2017, 2017.

18） CEN：Railway applications - Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Running Behaviour and stationary tests, EN 14363:2016, 2016.
19） CEN：Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 1: Characterization of track geometry, EN 13848-1:2019, 2019.

鉄道総研報告　監修スタッフ

■監修責任者
曽我部正道

■編集責任者
小島謙一

■企画・監修
川﨑邦弘　重枝秀紀　石毛　真　武内陽子
坪川洋友　渡辺信行　田所敏弥　根津一嘉
桃谷尚嗣　布川　修　福田光芳　平井　力
半田和行　池田　学　宇田東樹　遠藤広晴
富田　優　豊岡亮洋

鉄道総研報告　第40巻　第11号
2026年11月1日　発　行
監修・発行所：公益財団法人　鉄道総合技術研究所
〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38

©2026 Railway Technical Research Institute

本誌に関するお問い合わせ先
総務部広報　電話 042-573-7219

RTRI REPORT

Vol. 40 No. 11 Nov. 2026

PAPERS

Verification of Practical Application of Steel Movable-Nose Crossings for the Shinkansen
K.SHIOTA, Y.OIKAWA (1)

Development of a Wear-Measuring Device for Rigid Overhead Conductor Rails Using the Light Section Method
H.SUSUKI, I.MATSUMURA, C.YAMASHITA, M.SHIMIZU (10)

REVIEW

Overview and Revision Trends of the European Standard on Evaluation and Vibration Measurement in the Railway Sector
T.TAGASHIRA, T.WATANABE, H.SUZUKI (18)

RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE