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

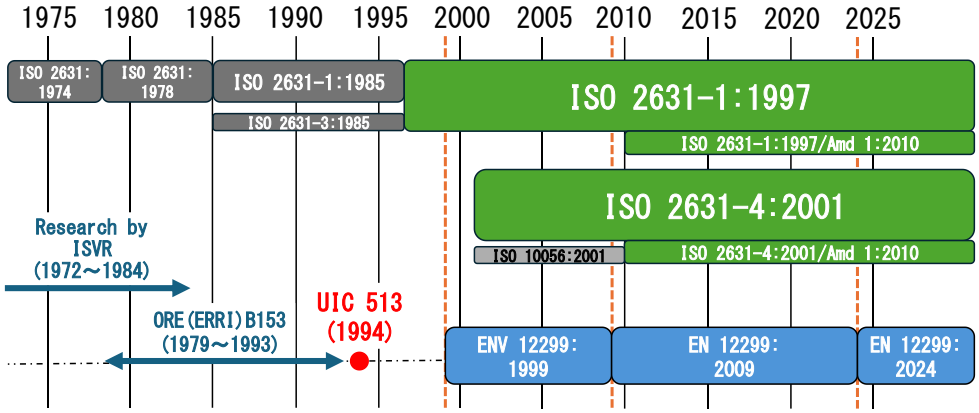


図 1　EN 12299 の改訂動向と関連する ISO 規格および乗り心地研究の動向

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

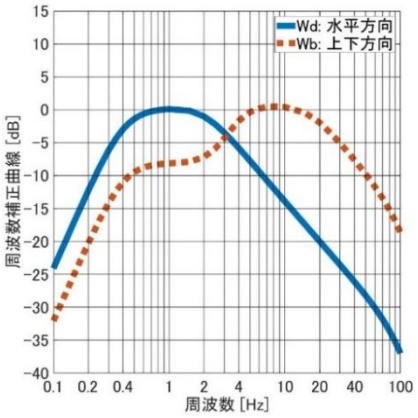


図 2　N_{MV} 算出に使用する周波数補正曲線

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.