

乗り心地の国際規格に関する 最新の動向について

人間科学研究部 快適性工学研究室

研究員 田頭 尚大

- 安全性／快適性に関して一定の品質を保証するため
人間科学分野においても国際標準化の流れが進む
(例) 運転士の資格要件、衝突安全性、バリアフリー対応、乗り心地
 - * 世界的な国際標準: ISO規格
 - * 地域的な国際標準: 欧州のEU指令・EN規格、など
- 「欧州地域の規格」であっても、日本と「無関係」ではない
 - 欧州へ輸出する際に規格への適合が求められる
 - 基準を持たない国がENなどをそのまま準用するケース

本発表では、「乗り心地評価」に関するEN規格(EN 12299)が15年ぶりに改訂されたので、概要と関連する規格・研究を報告する

1. 乗り心地関連規格の紹介
2. EN 12299:2024の概要と改訂内容
3. EN 12299とISO規格、BS規格、JIS規格の関連
4. 鉄道総研が実施した乗り心地研究との関連
5. まとめと成果の活用

1. 乗り心地関連規格の紹介

- 「乗り心地」: 工学分野では、主に「振動」に起因する快一不快の感覚を狭義の乗り心地と定義(振動乗り心地)^[1]
- ISO 2631-1:1997が考慮する周波数領域^[2]
(機械的振動及び衝撃 – 人体の全身振動暴露の評価 – 第1部: 一般的要求事項)
- * ISO 2631は、「全身振動」全般に対して適用される規格
→ 鉄道における「乗り心地」(主に0.5 Hz～)を適切に評価する方法が検討された

- | | |
|------------------------|------------------|
| * <u>0.5 Hz～80 Hz</u> | 健康、快適性及び知覚 |
| * <u>0.1 Hz～0.5 Hz</u> | 動揺病
→ 「乗り物酔い」 |

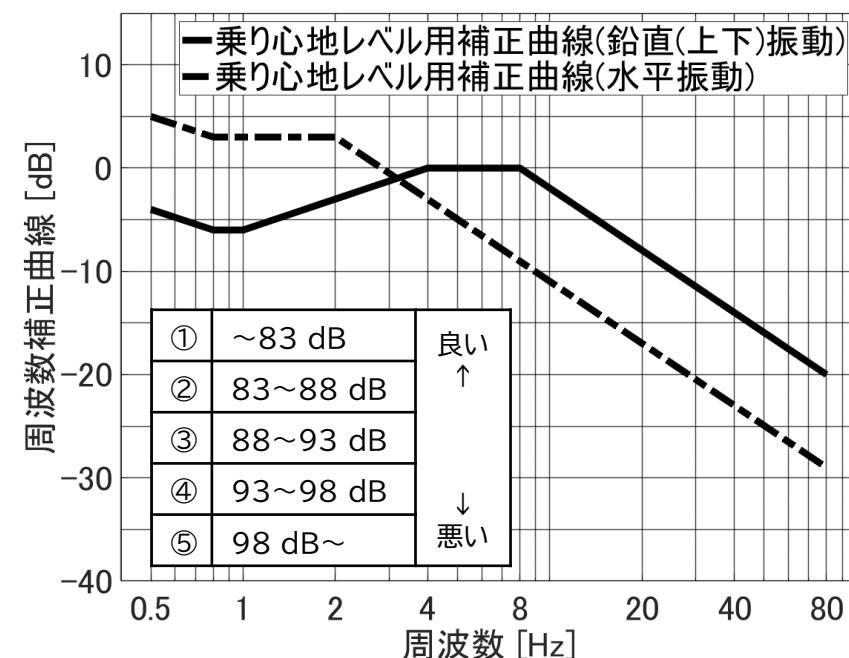
1. 乗り心地関連規格の紹介

日本における主要な乗り心地評価法: 「乗り心地レベル」

- ISO 2631:1974の内容を拡張した日本独自の乗り心地評価法^[3]
- 旧国鉄からの研究の依頼を受け、社団法人車両電気協会に「乗心地管理基準に関する研究委員会(1978～1981)」を設け審議^[4]

* 乗り心地レベル「 L_T 」の算出方法

- ① 3 ± 2 分の振動加速度を測定
- ② 乗り心地フィルタを用いた感覚補正
- ③ 実効値を求める
- ④ 基準加速度(10^{-5}m/s^2)でdB表示
- ⑤ 右の表で乗り心地を5段階評価



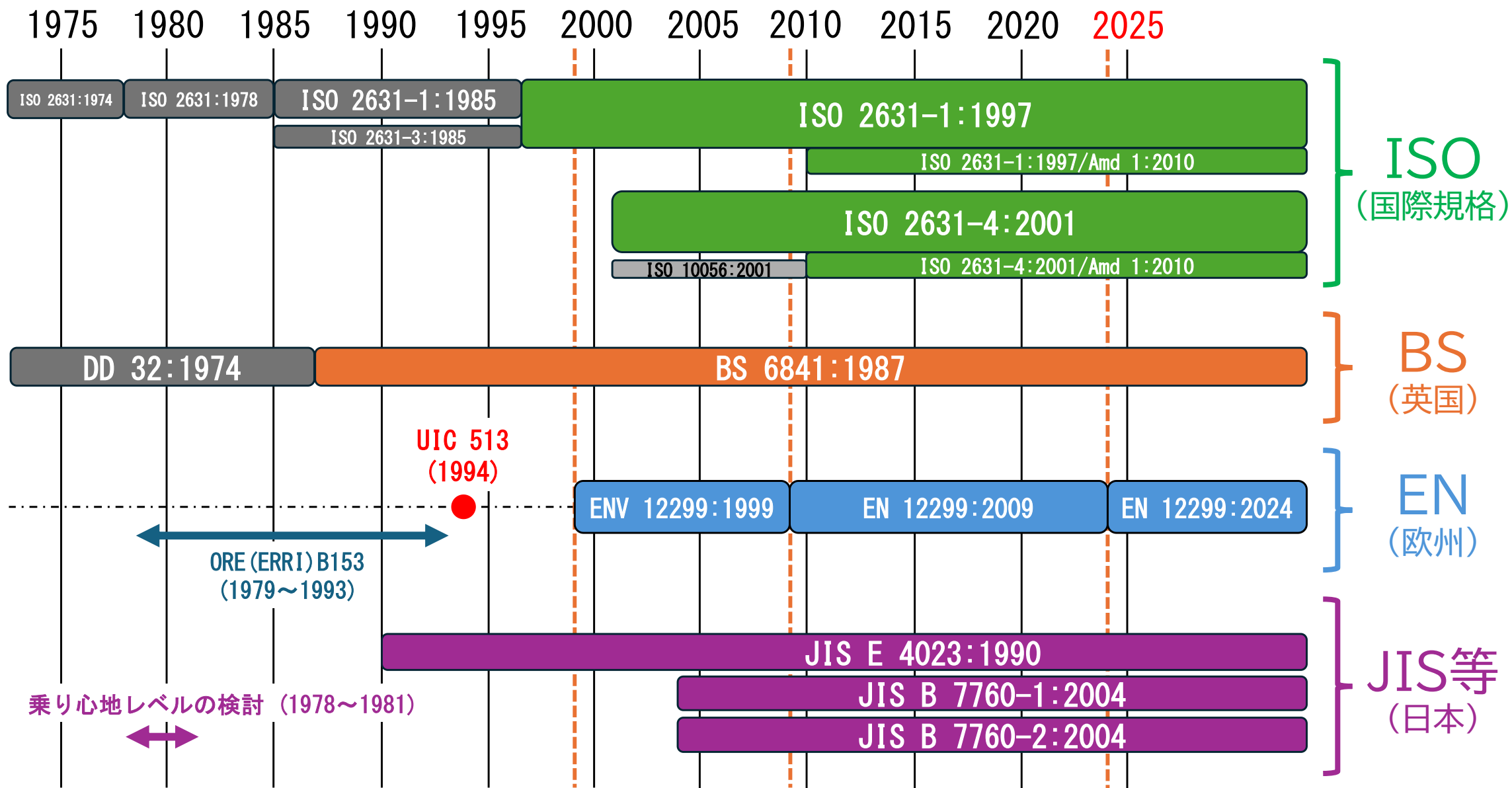
1. 乗り心地関連規格の紹介

・ 乗り心地に関連する主な規格^{[2][5][6][7][8][9][10]}

	規格コード	最終改正年	(修正年)	備考	対象
①	ISO 2631-1	1997	(2010)	全身振動評価の総説	評価法
②	ISO 2631-4	2001	(2010)	①を鉄道車両の振動に適用	評価法
③	BS 6841	1987		①の改訂に先駆けた 全身振動評価の総説	評価法
④	EN 12299	2024		UIC(国際鉄道連合)の 報告書等に基づく欧州規格	測定法 評価法
⑤	JIS E 4023	1990		鉄道車両の振動測定法	測定法
⑥	JIS B 7760-1	2004		ISO 8041の草案に基づく 全身振動測定装置を規定	測定法
⑦	JIS B 7760-2	2004		①を翻訳	評価法*

* 日本における乗り心地の「評価法」は、⑦よりも旧国鉄の「乗り心地レベル」が一般的

1. 乗り心地関連規格の紹介



2. EN 12299:2024の概要と改訂内容

EN 12299:2024^[7]

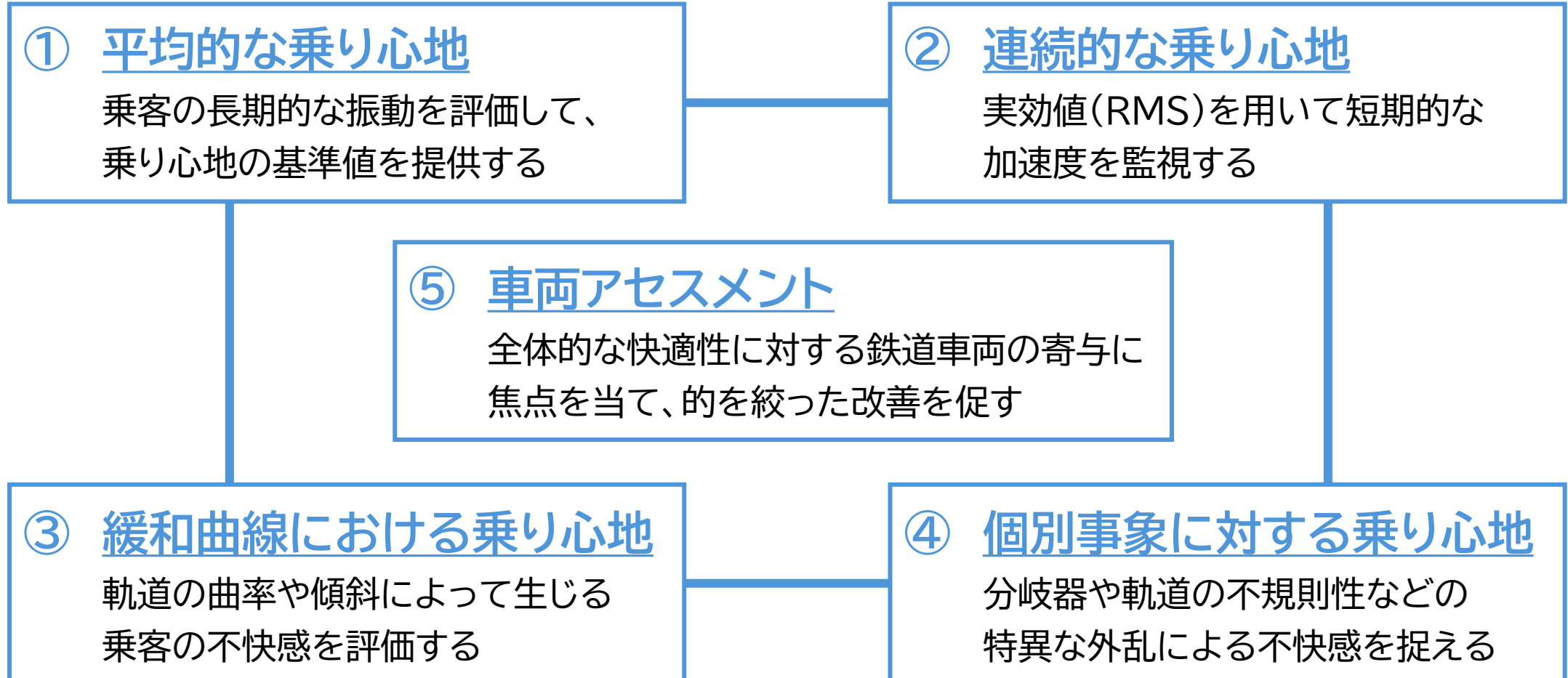
(Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation)

- CEN(欧州標準化委員会)が定めた、
鉄道の乗り心地に関する欧州規格
- 鉄道車両に生じる振動を入力とした
乗り心地評価法と測定法に関する技術基準
- 旧版(EN 12299:2009)から15年ぶりの改訂
- 2024/8にCEN承認、
2025/4までにCEN加盟国(34か国)の国家規格が適合
- 2025/5から修正草案に関するプロジェクトが始動中^[11]

CEN加盟国(34か国) ^[12]	
オーストリア	ルクセンブルク
ベルギー	マルタ
ブルガリア	オランダ
クロアチア	ポーランド
キプロス	ポルトガル
チェコ	ルーマニア
デンマーク	スロバキア
エストニア	スロベニア
フィンランド	スペイン
フランス	スウェーデン
ドイツ	アイスランド
ギリシャ	ノルウェー
ハンガリー	北マケドニア
アイルランド	セルビア
イタリア	スイス
ラトビア	トルコ
リトアニア	英国

2. EN 12299:2024の概要と改訂内容

- EN 12299で定義されている、5つの主要な快適性指標^[13]



2. EN 12299:2024の概要と改訂内容

① 平均的な乗り心地

- 各軸方向の加速度を、「人の感じやすい周波数」を反映した補正曲線で補正
- 補正加速度の実効値をもとに、車両の前後、左右、上下の合成値で乗り心地評価
- 各軸方向の時系列評価に適用することで

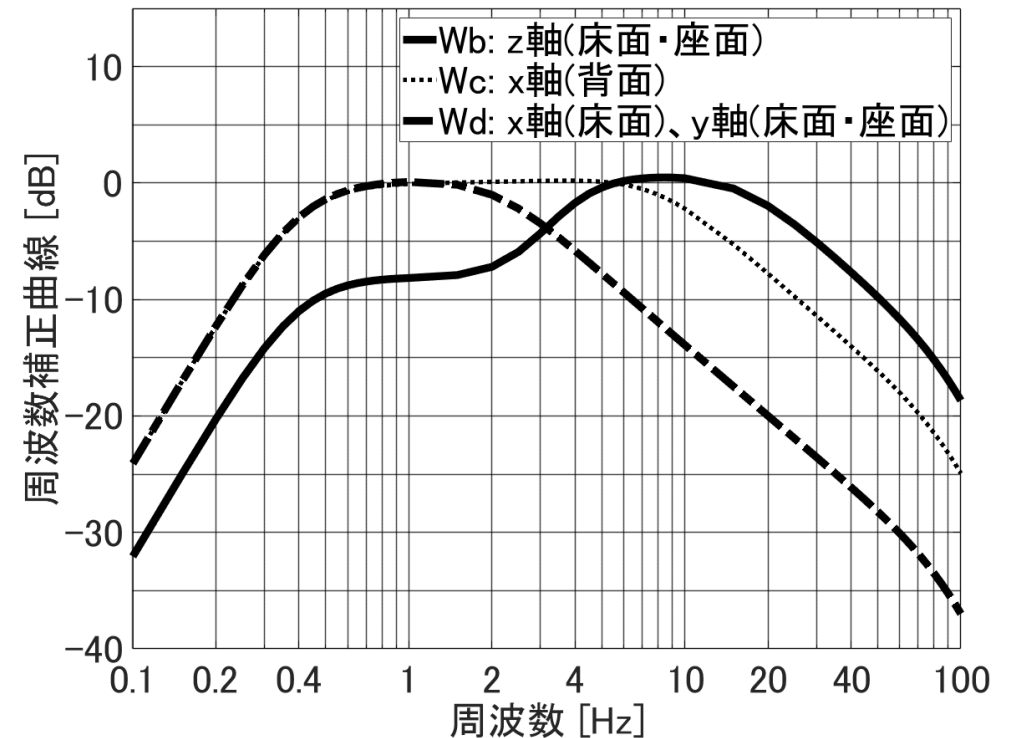
② 連続的な乗り心地 の評価に対応

N_{MV} : 標準的な評価式

N_{VA} : 詳細式(座位)

N_{VD} : 詳細式(立位)

$C_{Cx \sim z}$: 各軸方向の時系列評価



補正曲線(W_b : 上下、 W_d : 水平)

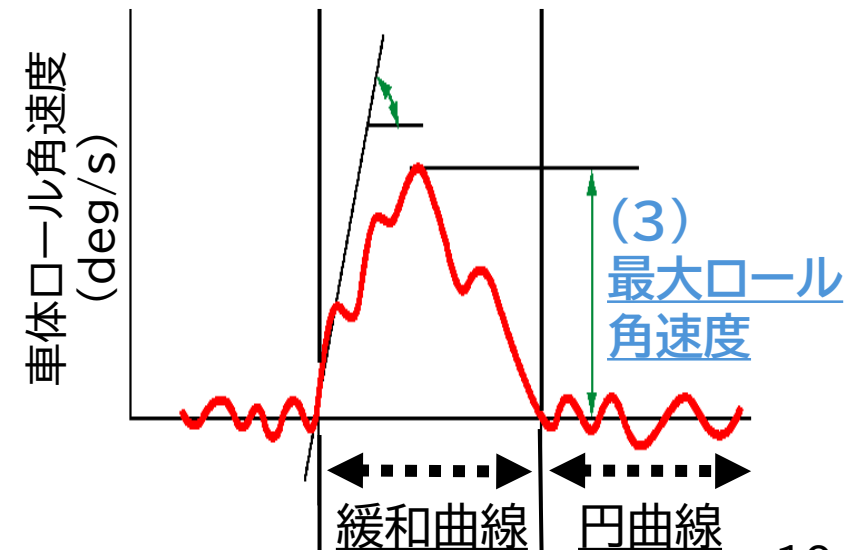
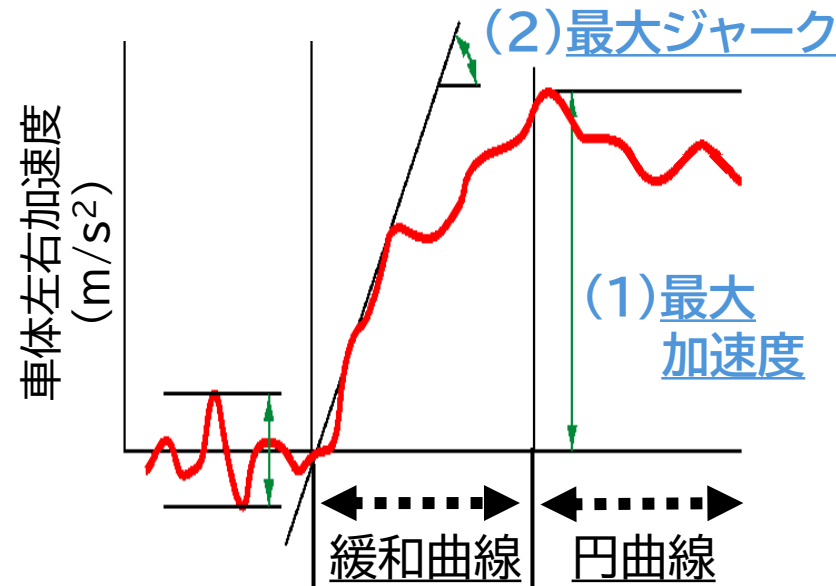
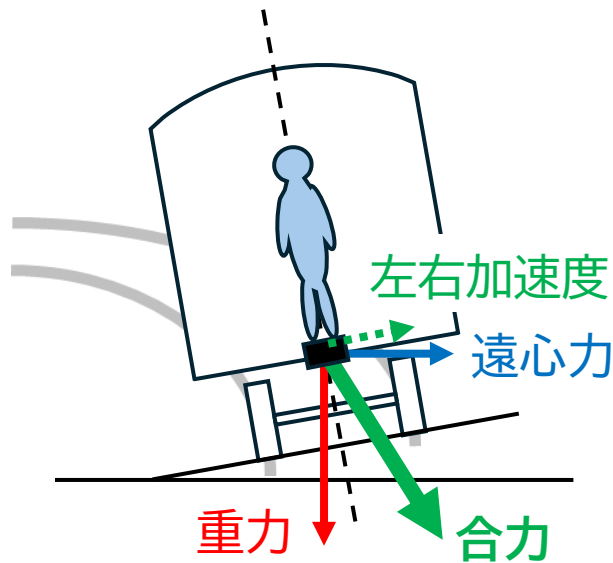
2. EN 12299:2024の概要と改訂内容

③ 「 P_{CT} 」: 緩和曲線における乗り心地

→ 軌道の曲率や傾斜によって生じる乗客の不快感を
評価区間の乗り心地に不満をもつ乗客の割合(%)として評価する

● 「 P_{CT} 」の算出に関わるパラメータ

(1) 最大加速度 (2) 最大ジャーク (3) 最大ロール角速度



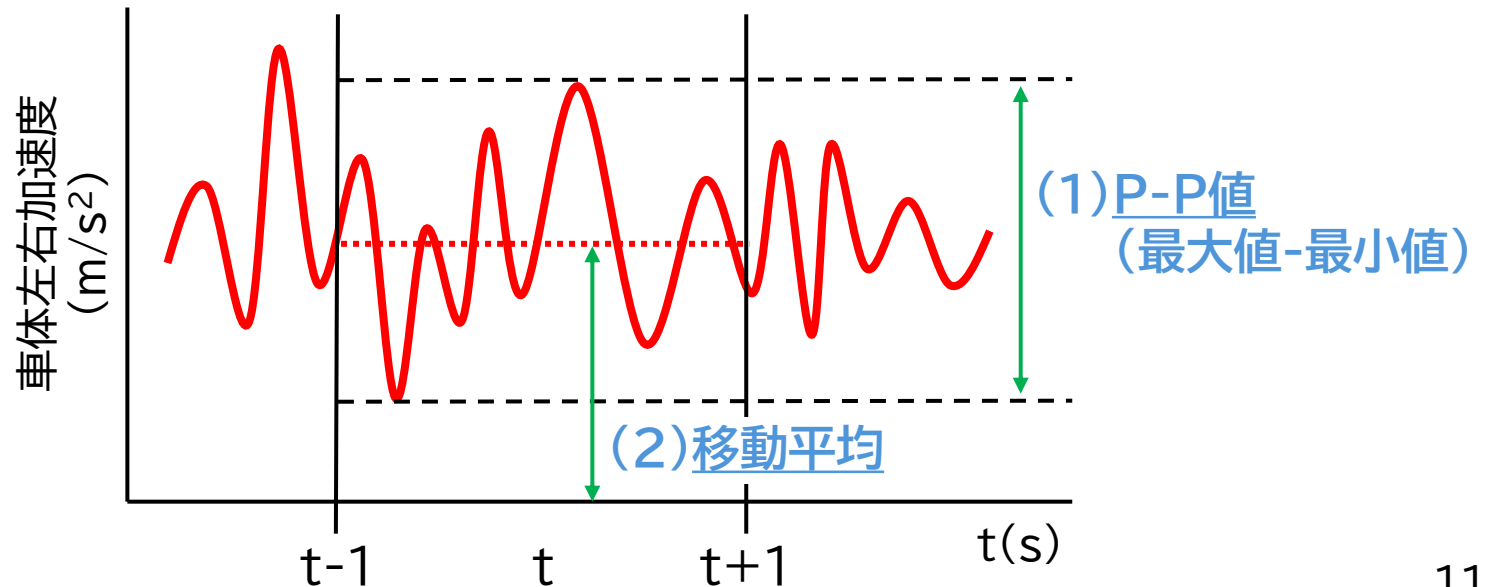
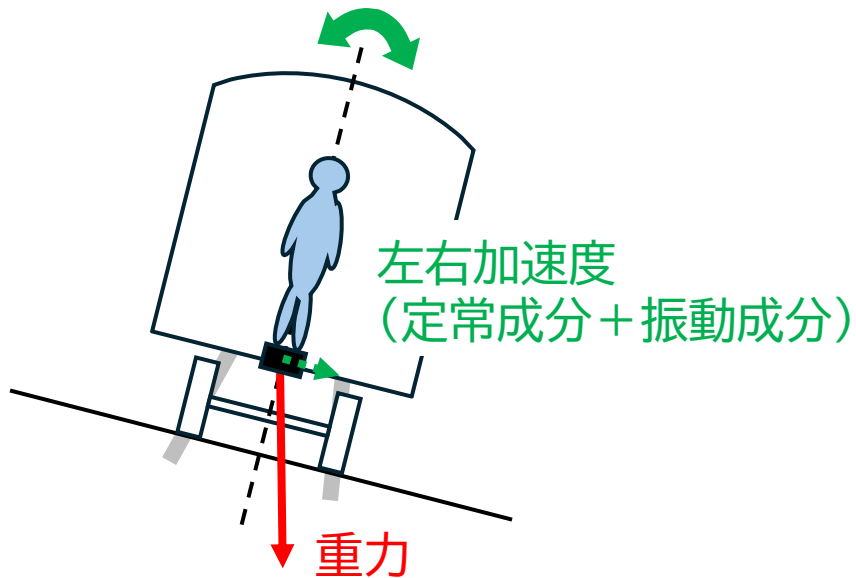
2. EN 12299:2024の概要と改訂内容

④ 「 P_{DE} 」: 個別事象に対する乗り心地

→ 特異な外乱 (分岐器、軌道の不規則性、etc.) による不快感を
評価区間の乗り心地に不満をもつ乗客の割合(%)として評価する

● 「 P_{DE} 」の算出に関わるパラメータ

(1) 左右加速度のP-P値(2秒間) (2) 左右加速度の移動平均(2秒間)



2. EN 12299:2024の概要と改訂内容

「 P_{CT} 」に関する内容の拡充

- ① 車体傾斜車両における「車両モニタリング指標」としての有用性を認める
- ② 2秒未満で通過する緩和曲線での適用に関する制限緩和
- ③ 「評価指標の解釈」と「理論的な評価」について解説する文章の増加
- ④ 曲率の変化による乗り心地を連続的に評価する指標としての適用拡大(「 $P_{CT-3s(t)}$ 」)

「 P_{DE} 」に関する内容の拡充

- ① 「あらゆる車両・速度・軌道で適用可能」とされていた、指標の適用範囲と有効性の明確化
(カント不足の顕著な曲線区間で実証済、分岐器・緩和曲線は未検証、直線区間是不適切)

近年の論文等にみられる活用例

- 「 P_{CT} 」: 乗り心地評価^{[14][15]}、曲線設計^{[16][17]}、車体傾斜の制御設計^[18]
シミュレーションによる検証で用いられる場面も目立つ
- 「 P_{DE} 」: 横風条件下で複雑な地形を通過する際の乗り心地評価^[19]

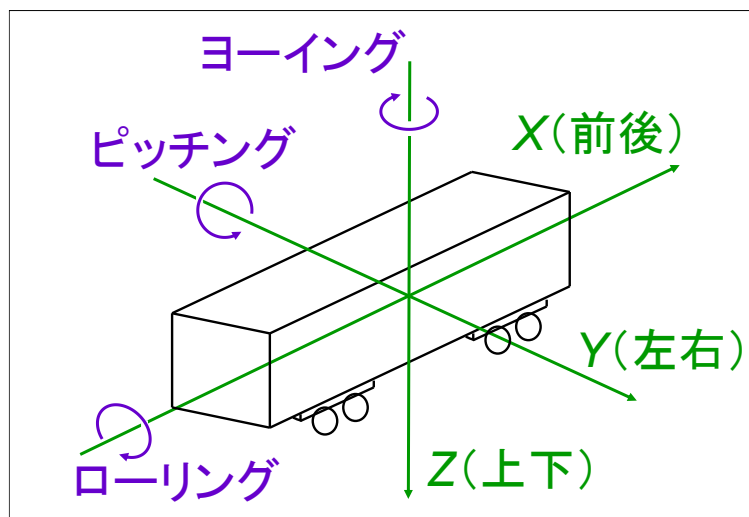
3. EN 12299とISO規格、BS規格、JIS規格の関連

① 振動を測定する「座標系」+「測定点」

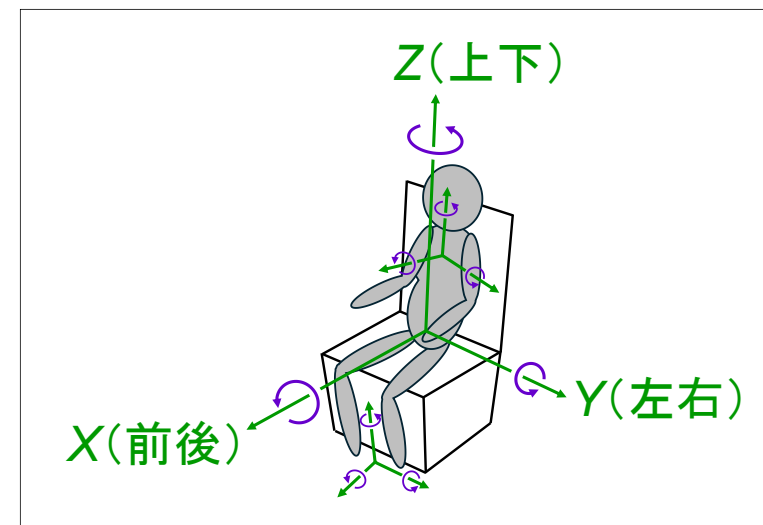
- 車両中心の「座標系」+車両の中央・端部が「測定点」
→ 「EN 12299」、「ISO 2631-4」、「JIS E 4023」
- 人体中心の「座標系」+人体と構造物の接点が「測定点」
→ 「ISO 2631-1」、「BS 6841」（鉄道以外にも適用）

車両中心の「座標系」を
乗り心地評価に使う利点

- ① 鉄道車両で生じる
多様な乗客の姿勢や
向きに対応した評価
- ② 車両・軌道の評価手法
としての活用



車両中心の座標系



人体中心の座標系

3. EN 12299とISO規格、BS規格、JIS規格の関連

② 「動揺病(乗り物酔い)」の評価手法の有無

- 「EN 12299」: 乗り物酔い評価が対象外
- 「ISO 2631-1」「BS 6841」: 「船酔い」の評価手法を定義 (×鉄道)

「MSDV_z」: 上下の動揺に対して「人の酔いやすい周波数」に基づく補正
→ 補正加速度の実効値が「酔い発生率」と比例関係にある

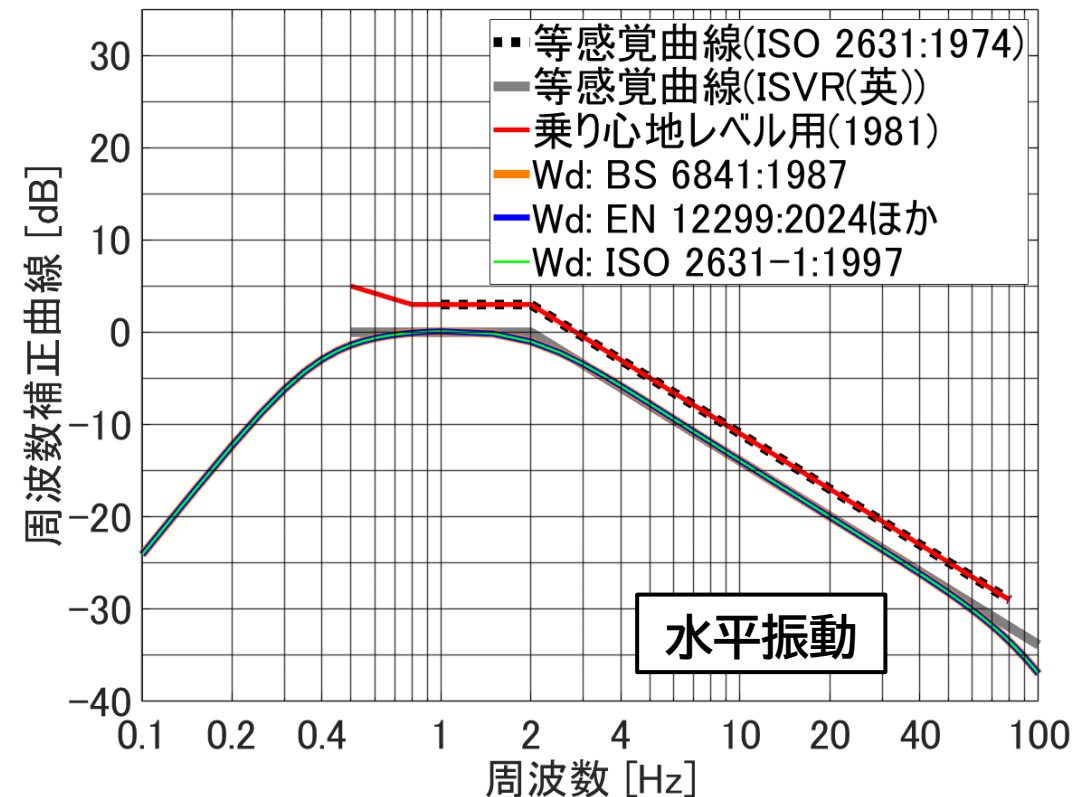
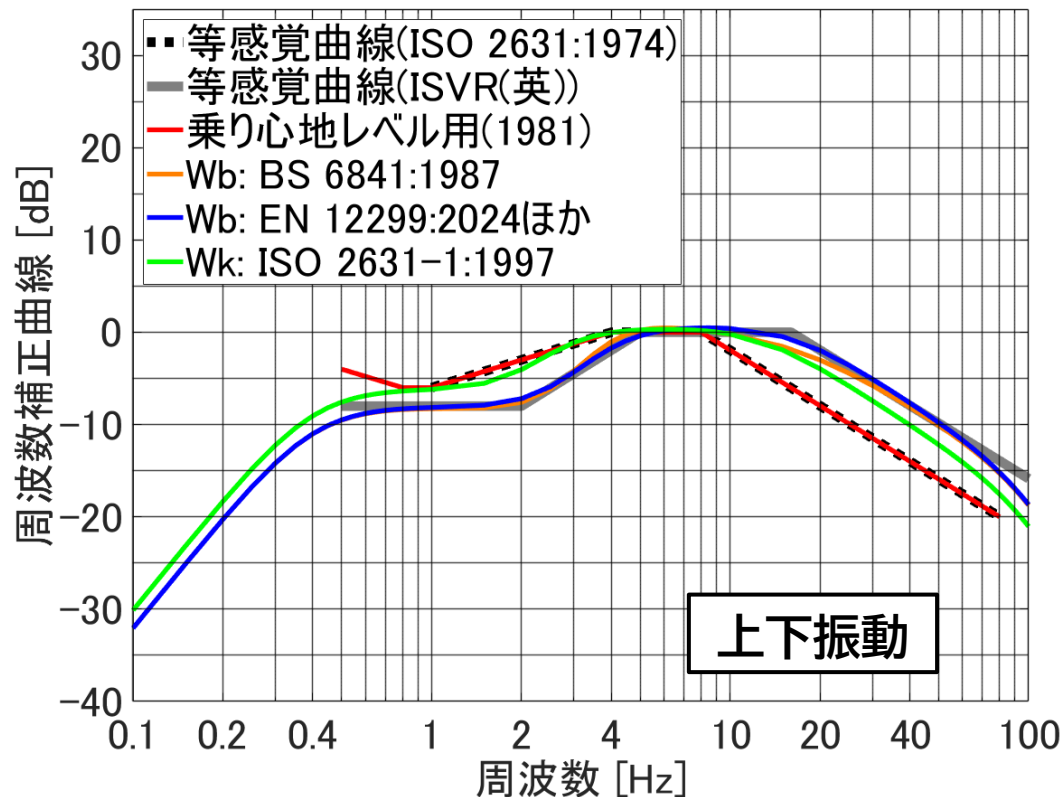
③ 「周波数補正曲線」の違い

- 【世界】EN 12299、ISO 2631-1、BS 6841 (1987年～)
英国の音響振動研究所(ISVR)が提案した等感覚曲線に基づいて作成
- 【日本】乗り心地フィルタ用 (1981年～)
「ISO 2631:1974」の等感覚曲線をもとに、日本独自の拡張

3. EN 12299とISO規格、BS規格、JIS規格の関連

Railway Technical Research Institute

- 【世界】 EN 12299、ISO2631-1、BS 6841 (1987年～)
英国の音響振動研究所(ISVR)が提案した等感覚曲線に基づいて作成
- 【日本】 乗り心地フィルタ用 (1981年～)
「ISO 2631:1974」の等感覚曲線をもとに、日本独自の拡張(0.5 Hz～1 Hz)

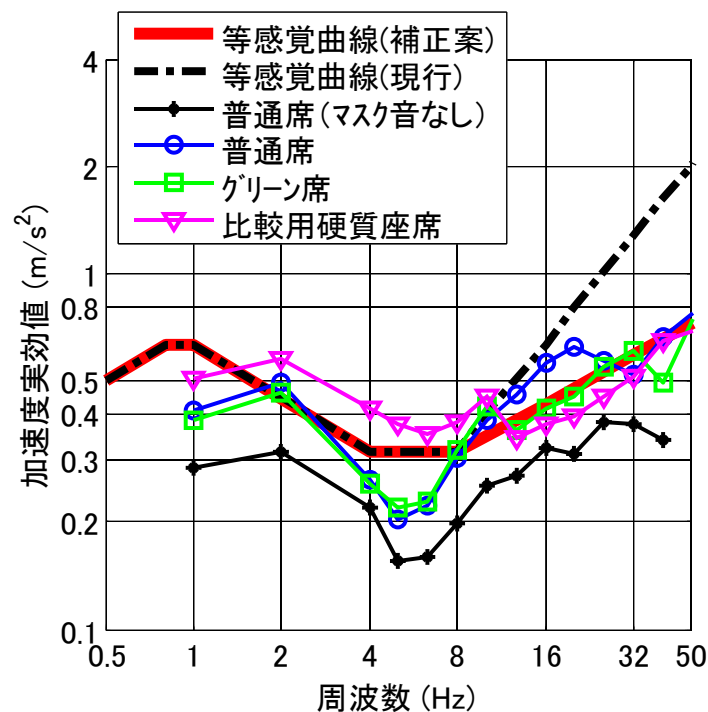


4. 鉄道総研が実施した乗り心地研究との関連

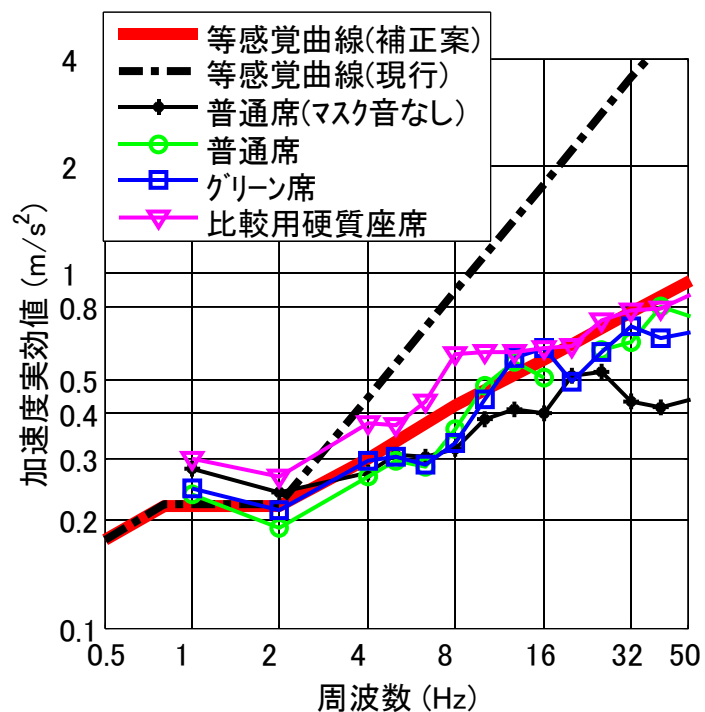
Railway Technical Research Institute

A)「不快感」に基づく等感覚曲線 [20]

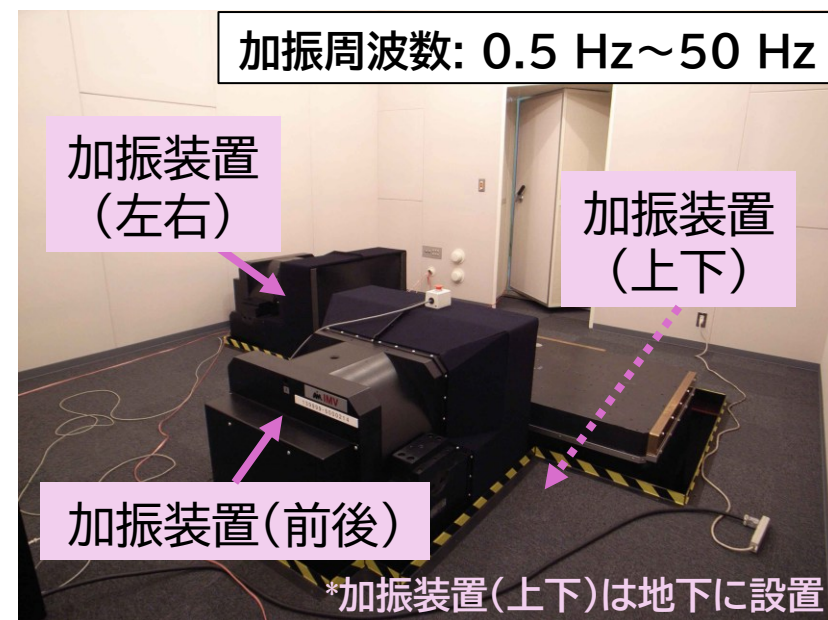
振動に対する人の等感覚曲線を、振動の「大きさ」ではなく「不快感」で再検討した
上下・左右振動における高周波域の重みが大きくなる可能性を示した。



上下振動*



左右振動*



高周波振動の乗り心地への
影響を検証する
「車内振動騒音評価シミュレータ」
(鉄道総研所有)

*「不快感」が等しく感じる加速度を結んだグラフなので、前頁の補正曲線と上下が逆になる

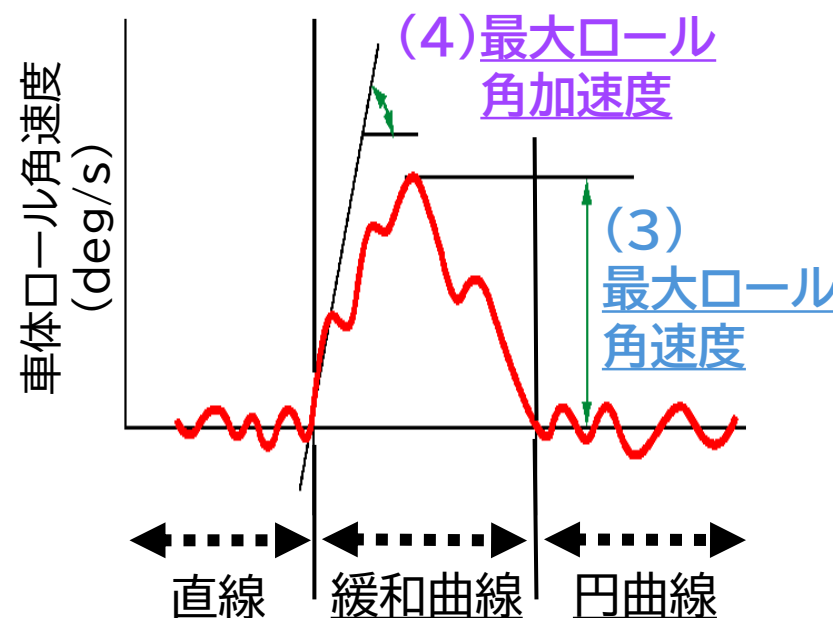
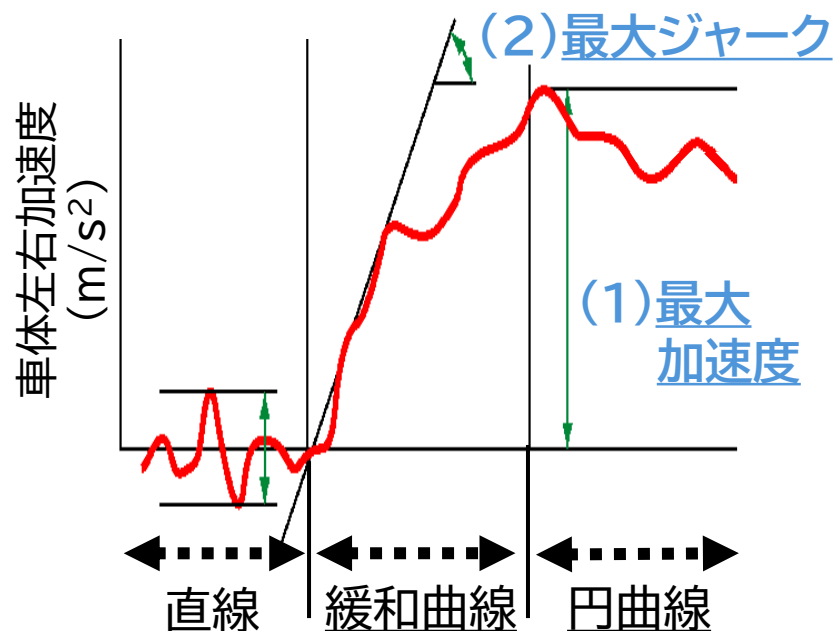
4. 鉄道総研が実施した乗り心地研究との関連

Railway Technical Research Institute

B) 総合評価指標(TC_T)の提案^[21]

「 P_{CT} 」に用いる3つのパラメータに(4)最大ロール角加速度を加え、
4段階評価の重回帰式を求めた。日本の緩和曲線では「 P_{CT} 」より重回帰係数が高い

→ 振子車両の制御システム「JTパターン」に応用^[22]



TC_T 算出値に対する
4段階評価

1	まったく問題ない
2	やや気になる程度
3	不快であるが 許容範囲内である
4	不快であり 許容できない

4. 鉄道総研が実施した乗り心地研究との関連

Railway Technical Research Institute

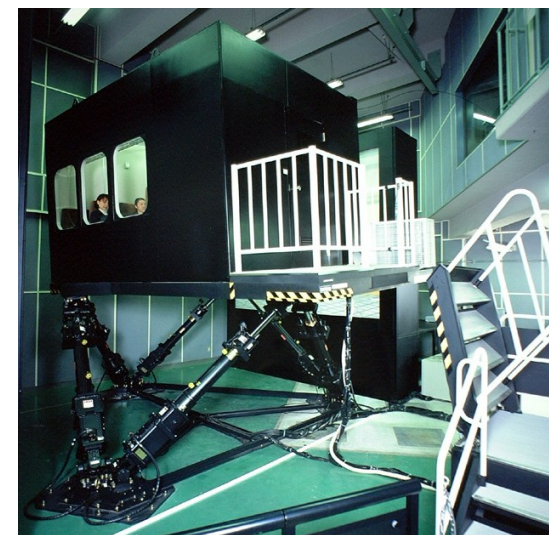
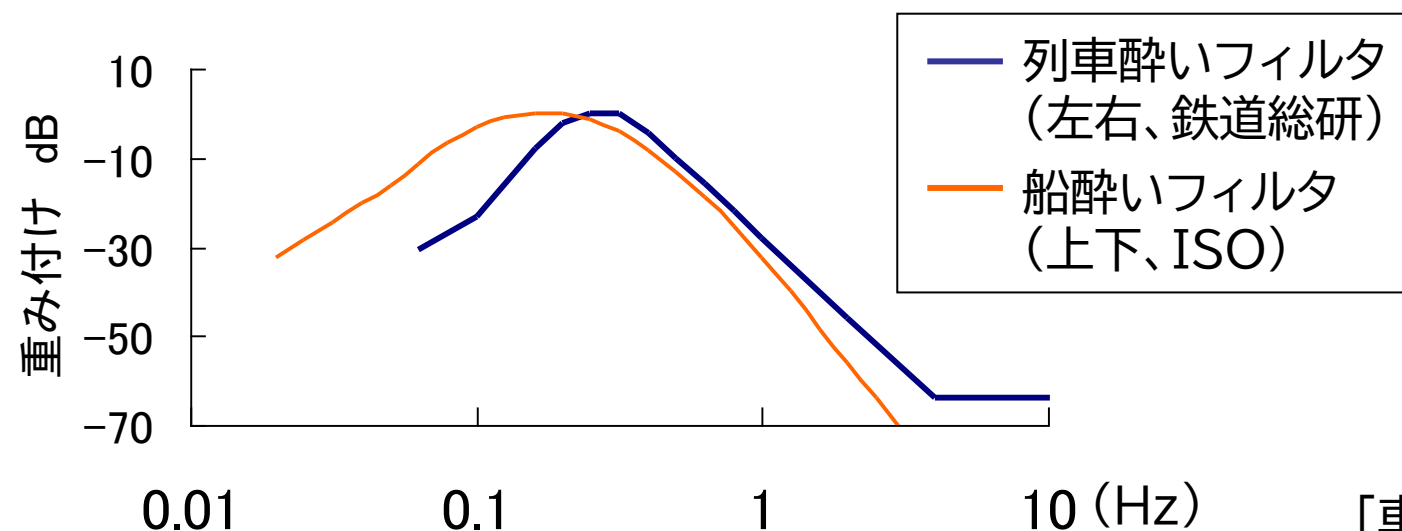
C) 列車酔いの評価指標($MSDV_y$)の提案^[23]

ISO 2631-1に記載のある船酔いの指標は、「上下振動」のみを考慮するが、鉄道の列車酔いは「左右振動」や「ロール」の影響が大きい

【1】 左右振動補正フィルタと、列車酔いの評価指標(「 $MSDV_y$ 」)

【2】 「 $MSDV_y$ 」と「ロール角」を用いた、酔い発生率(MR)の重回帰式を提案

→ 振子制御システム「JTMパターン」に応用^[24]



動揺装置と模擬客室を備えた
「車内快適性シミュレータ」(鉄道総研所有) 18

5. まとめと成果の活用

まとめ

- 鉄道の「乗り心地」に関して、一定の品質を保証するための国際標準化 (ISO 2631-1、ISO 2631-4、EN 12299、etc.)
- [EN 12299:2024](#)
 - ① 5つの主要な快適性指標
 - ② 鉄道車両の計測・評価に適した、「車両中心」の座標系 + 測定点
 - ③ 非定常な振動の評価 (EN独自の「 P_{CT} 」・「 P_{DE} 」、今回の改訂で内容拡充)

成果の活用

- 「[日本の標準](#)」と「[国際標準](#)」の本質的な知見をふまえた、鉄道総研の乗り心地研究
 - A) 「不快感」に基づく等感覚曲線 → [高速鉄道の乗り心地評価](#)に影響
 - B) 総合評価指標(TC_T) → 振子車両の制御に応用([JTパターン](#))
 - C) 列車酔いの評価指標($MSDV_y$) → 振子車両の制御に応用([JTMパターン](#))
- 今後とも、鉄道事業者 & メーカーとの協調を図り、[国際標準化の流れに適切に対応](#)

付録：EN 12299:2024における改訂内容一覧①

章番号/内容		主な改訂内容 (EN 12299:2009との比較)
1	Scope	• 大幅な書き換えで、「乗り心地を定量化し、乗客の快適性評価を予測可能、再現可能、客観的、有意義にする」ことを強調
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	N_{MV} 、 N_{VA} 、 N_{VD} 、 $C_{Cx\sim z}$	• 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	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	P_{DE}	• 定義式に変更なし、評価指標が有効となる適用条件を制限
9	各指標の評価尺度・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

付録：EN 12299:2024における改訂内容一覧②

付録/内容/(旧版の付録)			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	旧版の付録Gに対応、補正曲線の適用方法などが明確化
I	パラメータ・算出式一覧	H	
J	シミュレーション	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	編成全体の評価方法	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

- [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:Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements”, ISO 2631-1:1997, 1997
- [3] [榎本衛, 佐々木君章, 白戸宏明:乗り心地の向上をめざして, RRR, Vol. 67, No. 3, pp. 4-7, 2010](#)
- [4] 日本鉄道技術協会:乗心地管理体制の充実に関する研究報告書, 1981
- [5] 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
- [6] BSI:Guide to Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock, BS 6841:1987, 1987
- [7] CEN:Railway applications -Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation, EN 12299:2024, 2024
- [8] 日本規格協会:日本産業規格 鉄道の振動特性－測定方法, JIS E4023, 1990
- [9] 日本規格協会:日本産業規格 全身振動－第1部:測定装置, JIS B7760-1, 2004
- [10] 日本規格協会:日本産業規格 全身振動－第2部:測定方法及び評価に関する基本的要求, JIS B7760-2, 2004
- [11] CEN>About CEN - Technical Work – CEN/TC 256 Work programme”, https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=205:22:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:6237,25&cs=110B93FA1ACDC7275D4E7562955DA88A5, (参照日: 2025年10月21日)
- [12] CEN>About CEN - CEN Communities - List of CEM Members”, <https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:5>, (参照日: 2025年10月21日)
- [13] CEN:NEWS AND EVENT - Enhancing Railway Passenger Ride Comfort with EN 12299:2024”, https://www.cencenelec.eu/news-and-events/news/2024/eninthespotlight/2024-12-16-railway_en-12299-2024/, (参照日: 2025年10月21日)

- [14] Andrej Suchánek, Mária Loulová and Jozef Harušinec: Evaluation of passenger riding comfort of a rail vehicle by means dynamic simulations, MATEC Web of Conf., Vol. 254, 03009, 2019
- [15] Claudio Braccesi, Filippo Cianetti and Renzo Scaletta: The use of the PCT index in railway motion sickness incidence evaluation, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 229, Issue 4, pp. 428-445, 2015
- [16] Z. L. Wang, You-Lin Xu, Guo Qiang Li and Suwen Chen: Optimization of horizontally curved track in the alignment design of a high-speed maglev line, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 1-18, 2019
- [17] Kufver Björn: Optimisation of single horizontal curves in railway alignments, VTI rapport, ISSN 0347-6030, No. 424A, 1997
- [18] Argyrios C. Zolotas and Roger M. Goodall: Improving the tilt control performance of high-speed railway vehicles: an LQG approach, IFAC Proceedings Volumes, Vol. 38, Issue 1, pp. 25-30, 2005
- [19] Dongrun Liu, Wei Zhou, Lei Zhang, Qianxuan Wang, Mu Zhong and Zhaijun Lu: Momentary discomfort of high-speed trains passing through complex terrain sections under strong wind conditions, Vehicle System Dynamics, Vol. 58, Issue 9, pp. 1428-1450, 2020
- [20] [中川千鶴, 島宗亮平, 高見創, 渡邊健, 横山義彦: 高周波振動を考慮した乗り心地評価法, 鉄道総研報告, Vol. 26, No. 1, pp. 33-38, 2012](#)
- [21] [鈴木浩明, 白戸宏明, 田中綾乃, 手塚和彦, 仲川滋: 車体傾斜車両の緩和曲線走行時の乗り心地評価法, 鉄道総研報告, Vol. 13, No. 11, pp. 33-38, 1999](#)
- [22] [榎本衛, 白戸宏明, 佐々木君章, 神山雅子: 振り子列車の乗り心地を改善する, RRR, Vol. 62, No. 1, pp. 32-35, 2005](#)
- [23] [鈴木浩明, 白戸宏明, 手塚和彦: 低周波振動が列車酔いに及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol. 18, No. 2, pp. 9-14, 2004](#)
- [24] 畠田憲司, 鴨下庄吾, 真木康隆, 風戸昭人: 乗り物酔いに着目した振り子制御システムの開発, 第14回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2007), S1-1-1, pp. 283-286, 2007