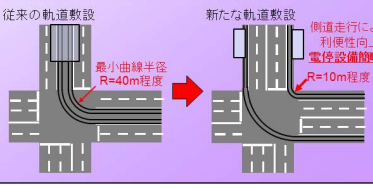
傾斜軸＆逆勾配踏面を用いた独立回転車輪台車
New Concept Bogie with Independently Rotating Wheels

車両方式ごとの台車構造

各車両方式ごとに
最適な構造

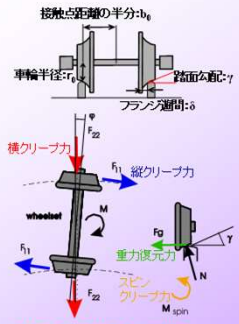
都市を走行する鉄道車両には曲線通過性能の更なる向上が必要

⇒脱線の防止
⇒摩耗・騒音の抑制
⇒軌道敷設フレキシビリティ向上



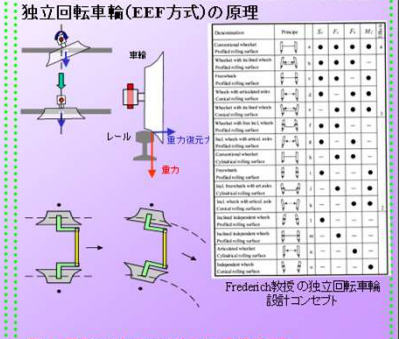
車輪の操舵方式

一体輪軸のセルフステアリング



最小の曲線半径はR=100程度

独アーヘン工大Frederich教授の提案した操舵性独立回転車輪(EEF方式)の原理



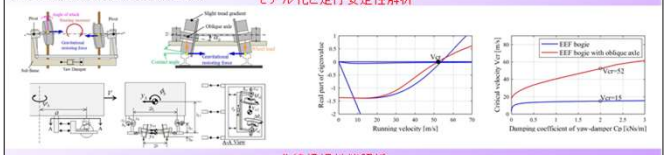
Frederich教授の独立回転車輪設計コンセプト

新しい構造により、R100より小さい曲線が可能

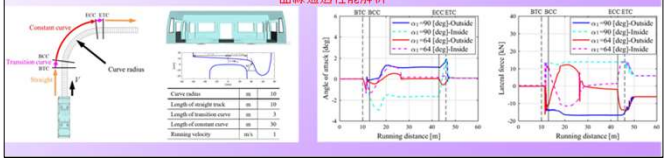
傾斜軸EEF台車のパラメータ設計

逆踏面車輪はダイナミクスとしてみれば優れているものの，負の踏面勾配を持つため既存の軌道への影響が未解明である．別解として，実用実績のあるEEF台車に着目し，その弱点である走行安定性の低下を防ぐことを目的とした新たな台車として，傾斜軸IRW二関する研究の知見を使用した傾斜軸EEF台車を提案．傾斜軸EEF台車は，車輪に傾斜角，つまり自動車でいうキャンバー角を付与しつつ，踏面形状を工夫することで自励振動の抑制を実現する．

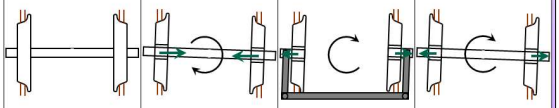
モデル化と走行安定性解析



曲線通過性能解析

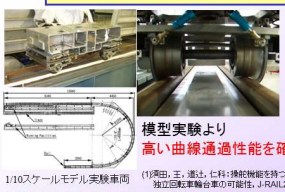


自己操舵・自己復元機能を持つ逆勾配踏面

自己操舵力	通常一体輪軸	通常独立回転	EEF方式 独立回転	逆勾配踏面 独立回転
				
縦クリープ力	有	無	無	無
重力復元力	内向き	内向き	外向き	外向き
メカニズム		逆操舵モーメント ⇓ 倒立振子の ダイナミクス	操舵モーメント ⇓ 正立振子の ダイナミクス	操舵モーメント ⇓ 正立振子の ダイナミクス

安定なダイナミクス

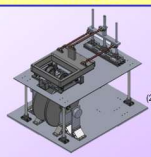
逆踏面勾配独立回転輪軸（逆踏面IRW）



1/10スケールモデル実験車両

模型実験より
高い曲線通過性能を確認(1)

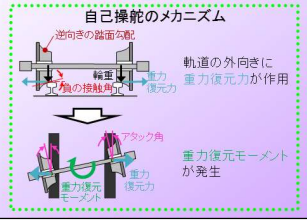
(1)岡田，王，道辻，仁科：操舵機能を持つ新方式独立回転車輪台車の可能性，J-RAIL2008.



軌条輪試験より
高速走行時には
反操舵モーメントにより
蛇行動が発生(2)

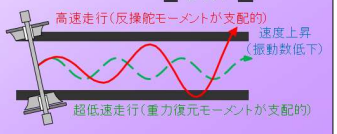
(2)江尻，道辻，岡田，石山，小松，林：逆踏面式輪軸が有する蛇行動特性の実験解析，TRANSLOG2011.

自己操舵のメカニズム



軌道の外向きに
重力復元力が作用

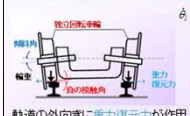
重力復元モーメント
が発生



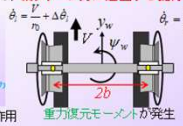
⇒ 曲線通過性能に優れ蛇行動を起こしにくい
新しい輪軸の提案

傾斜軸独立回転輪軸（傾斜軸IRW）のモデル化と運動方程式

- 車輪を傾斜させることにより，重力復元力による自己操舵性が作用．
- 車輪を円筒状にすることで，縦クリープ力に起因する蛇行動を抑制．



軌道の外向きに重力復元力が作用

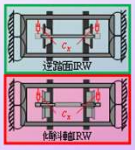


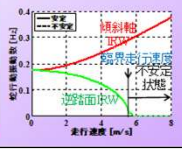
重力復元モーメントが発生

4自由度$(y_w, \psi_w, \Delta\theta_l, \Delta\theta_r)$でモデル化

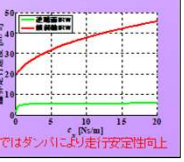
m_w:輪軸の質量	γ:踏面勾配
J_{wx}:輪軸のx軸周りの慣性モーメント	γ:踏面勾配変化率
J_w:車輪の回転軸周りの慣性モーメント	κ_x:縦クリープ係数
r_0:初期車輪半径	κ_y:横クリープ係数

$$\begin{bmatrix} m_w & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_{wx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_w \\ \ddot{\psi}_w \\ \Delta\ddot{\theta}_l \\ \Delta\ddot{\theta}_r \end{bmatrix} + \frac{1}{V} \begin{bmatrix} 2\kappa_{22} & -2J_w\frac{V^2(\gamma_0-\alpha_0)}{r_0 b} & 0 & 0 \\ 2J_w\frac{V^2(\gamma_0-\alpha_0)}{r_0 b} & 2\kappa_{11}b^2 & -\kappa_{11}br_0 & \kappa_{11}br_0 \\ 0 & -\kappa_{11}br_0 & \kappa_{11}r_0^2 & 0 \\ 0 & \kappa_{11}br_0 & 0 & \kappa_{11}r_0^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_w \\ \dot{\psi}_w \\ \Delta\dot{\theta}_l \\ \Delta\dot{\theta}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2P\gamma_1 & -2\kappa_{22} & 0 & 0 \\ \frac{2\kappa_{11}b_0\gamma_0}{r_0} & -2P(\gamma_0-\alpha_0)b & 0 & 0 \\ -\kappa_{11}\gamma_0 & 0 & 0 & 0 \\ \kappa_{11}\gamma_0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_w \\ \psi_w \\ \Delta\theta_l \\ \Delta\theta_r \end{bmatrix} = 0$$





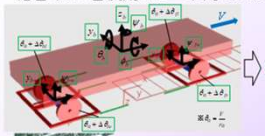
速度の上昇に伴う
蛇行動振動数は
逆踏面IRW：低下
傾斜軸IRW：増加



傾斜軸ではダンパにより走行安定性向上

一車両モデルによる曲線通過性能の検証

一軸台車を2台使用した一車両モデルを構築

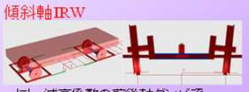


13自由度

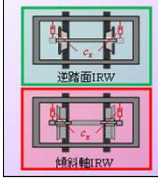
JREAプロジェクトで使用された
高性能・低コスト一軸台車の
主要諸元を使用

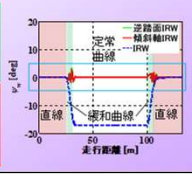
逆踏面IRW

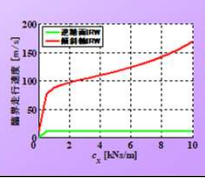
傾斜軸IRW



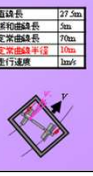
同一減衰係数の前後軸ダンパで
2種類の輪軸の曲線通過性能を比較







直線長	27.5m
緩和曲線長	5m
定常曲線長	70m
定常曲線半径	10m
走行速度	1m/s



まとめ

都市を走行する鉄道車両の超急曲線の通過性能と走行安定性の更なる向上のため、EEF構造の思想を受け継いだ逆勾配独立回転輪軸の改良を行い、傾斜軸IRWを提案した．

理論検討、スケールモデルを用いた試験、及びシミュレーション検討により，以下の知見を得られた．

— 傾斜軸IRWは前後支持機構として前後軸ダンパを使用することで走行安定性を向上できる．

— 傾斜軸IRWは同じ減衰係数の前後軸ダンパを使用した場合，逆踏面IRWと同程度の曲線通過性能を有する．

傾斜軸IRWは鉄道車両の曲線通過性能と走行安定性の両立ができる可能性を有する構造といえる．

共同研究：茨城大学 道辻研究室