

モビリティイノベーション

－ 自動化を前提とした未来のモビリティ －

2025.11.21

須田義大

東京大学名誉教授
東京工科大学教授

片柳技術研究所
未来モビリティ研究センター長

須田義大
東京大学名誉教授
東京工科大学教授
片柳研究所 未来モビリティ研究センター長
先進モビリティ株式会社社外取締役



- 日本機械学会 副会長・名誉会員
- 自動車技術会 副会長・監事・名誉会員
- 日本自動車研究所 理事
- 自動車安全運転センター 評議員
- 日本道路交通情報センター 理事
- 軽自動車検査協会 評議員
- ITSジャパン 理事
- 自動車製造物責任相談センター 審査員
- 日本学術会議連携会員(総合工学・機械工学)・安全安心リスク検討分科会長
- 鉄道総合技術研究所 理事・評議員
- 内閣官房・内閣府・総務省・警察庁・デジタル庁・経済産業省・国土交通省・文部科学省等の審議会・委員会等の委員長・座長・委員
- 国際会議の組織委員長



CFMR

未来モビリティ研究センター

人の未来を
モビリティが
 支える。

モビリティ開発
人材育成プログラム

ひと

地域社会の課題解決

こと

革新的な
モビリティ技術の開発

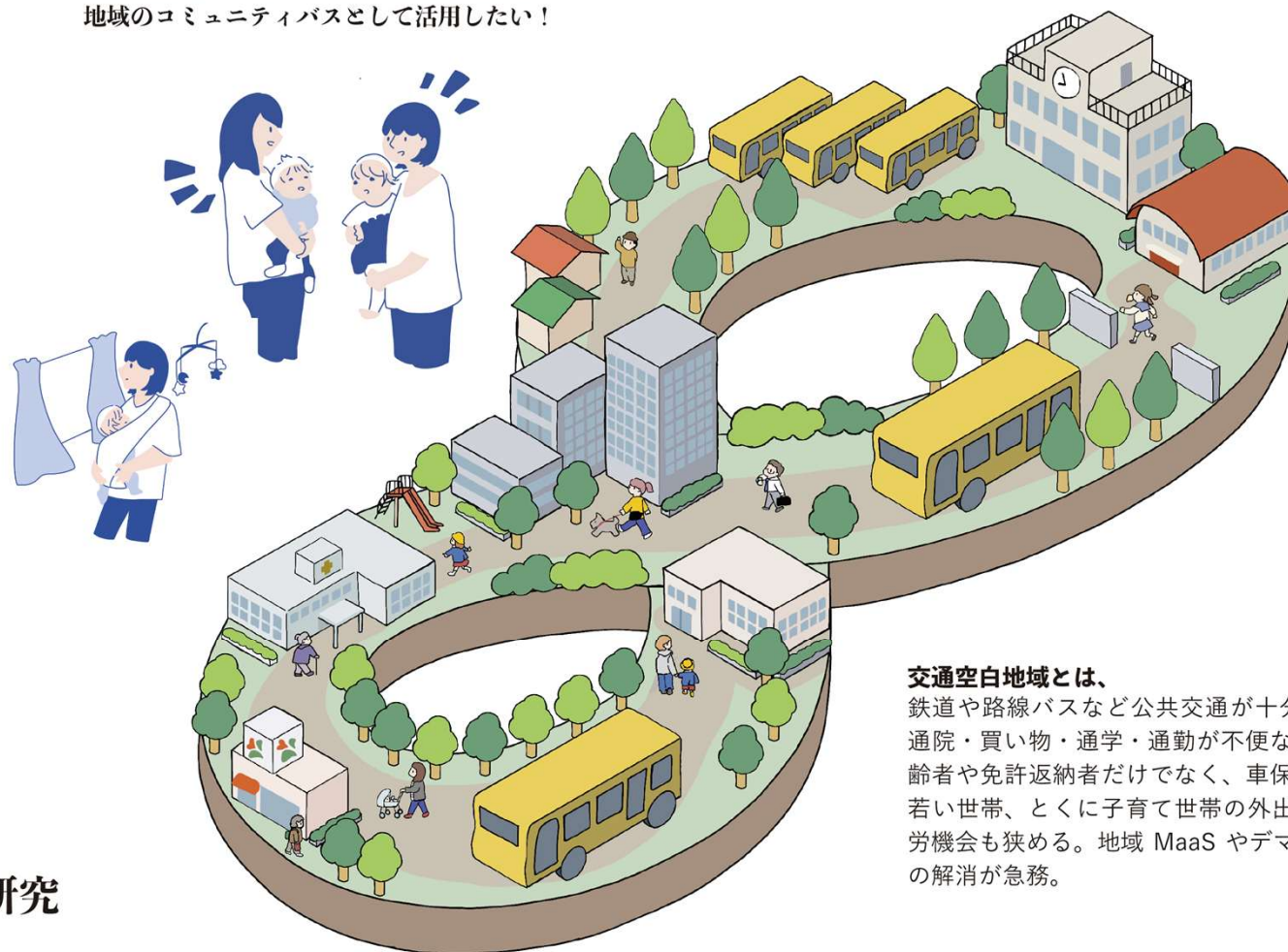
もの

CFMR

未来モビリティ研究センター

 東京工科大学 片柳研究所
TOKYO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

「交通空白地域」のために自動運転スクールバスを
地域のコミュニティバスとして活用したい！



交通空白地域とは、

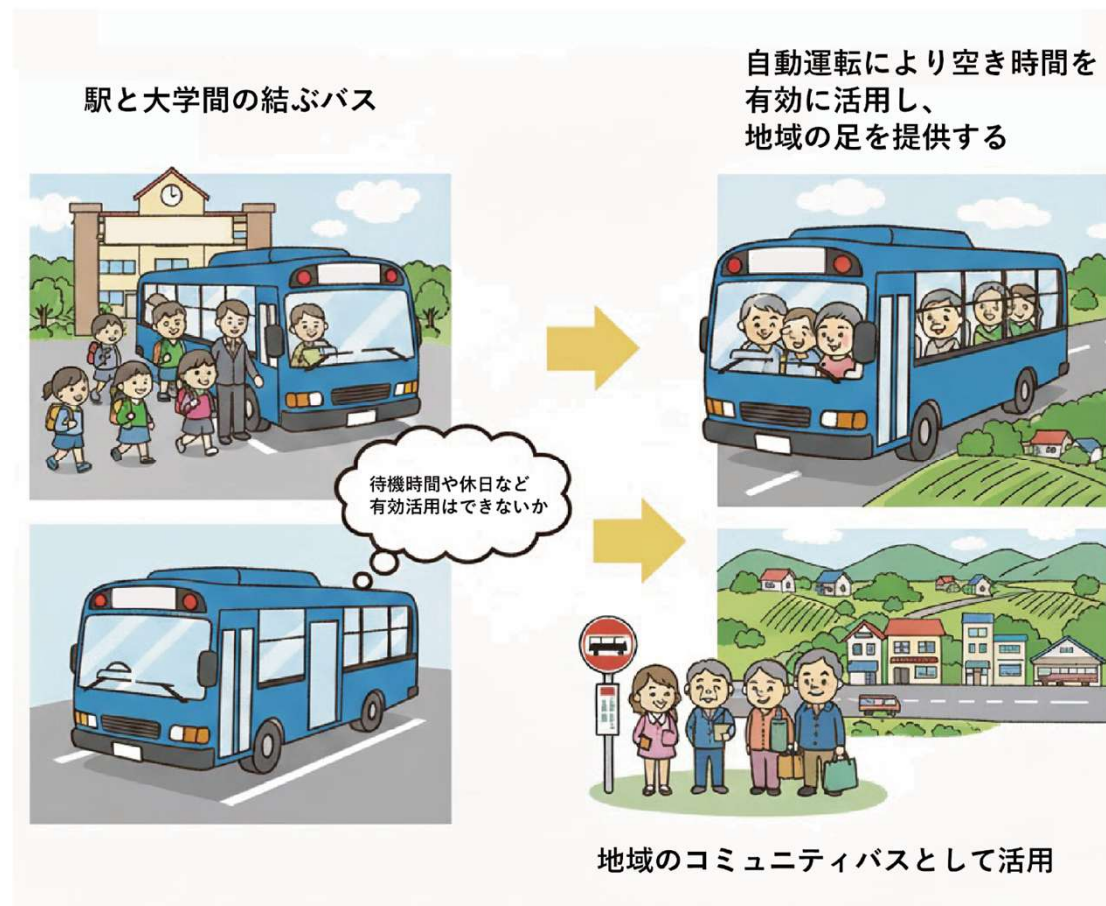
鉄道や路線バスなど公共交通が十分に届かず、
通院・買い物・通学・通勤が不便なエリア。高
齢者や免許返納者だけでなく、車保有が難しい
若い世帯、とくに子育て世帯の外出・教育・就
労機会も狭める。地域 MaaS やデマンド交通で
の解消が急務。

**AI による
スクールバスの開発
自動運転スクールバスの研究**

スクールバスを活用した地域貢献



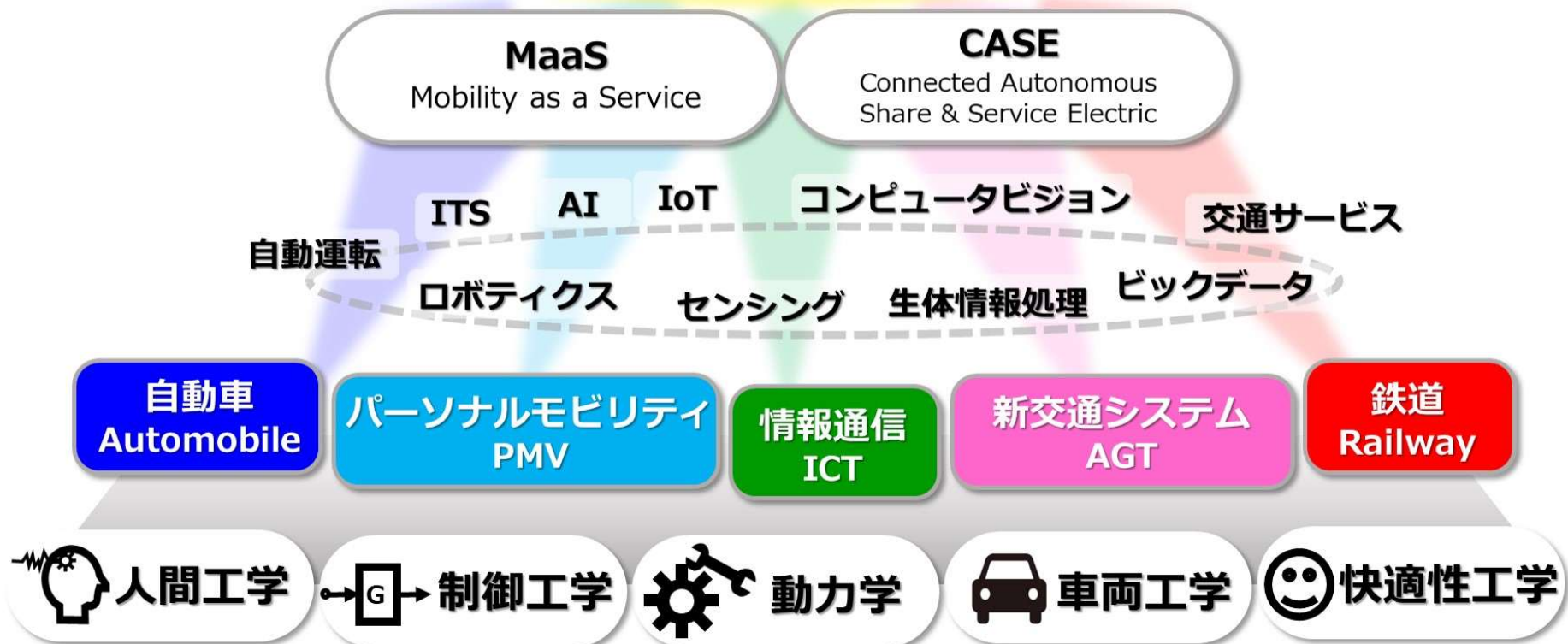
FCバス3台を含む26台のバスで
2系統多頻度運行



須田研究室 研究領域マップ^o

SUDA Lab. Research Map

モビリティ・イノベーション Mobility Innovation



モビリティ研究

- 既存システムの課題解決
 - 安全性向上
 - 性能向上 スピードアップ コストダウン
 - 快適性向上
- アンコンベンショナル技術革新
 - 課題発掘
 - 新たな手法
- 手法
 - 思考実験 論理的考察
 - シミュレーション スケール模型試験
 - 実物大試験 実証試験



大変革期 何が起きている？

- 技術の進化
 - 自動運転
 - 生成AI
- 社会制度の整備
 - レベル4 無人走行の公道走行
 - 自動運転支援道
 - 公共交通 リ・デザイン
- 社会の変化・個人の変化
 - ポスト・コロナ
 - ドライバー不足 2024年問題
 - カーボンニュートラル(CN-GX), DX

サステイナブルな交通システム Sustainable Transportation

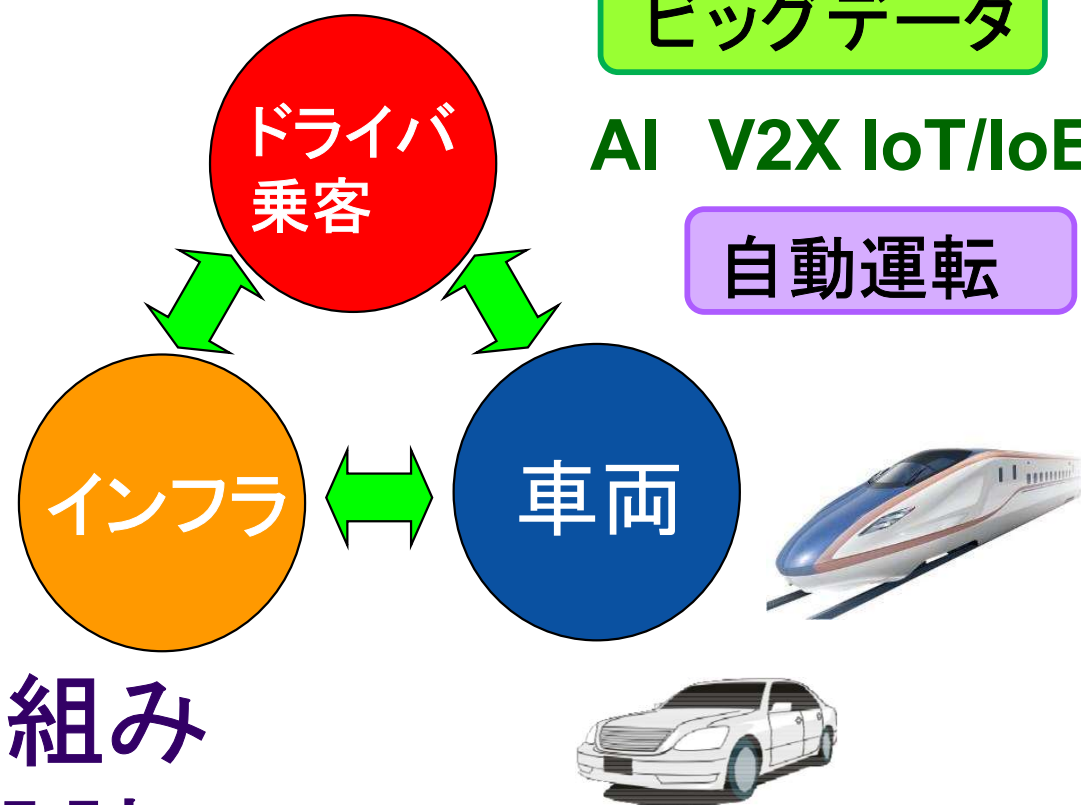
- 省エネルギー・低環境負荷
- 安全・安心
- 快適・健康
- 防災・街づくり
- 海外展開

Society 5.0

ビッグデータ

AI V2X IoT/IoE

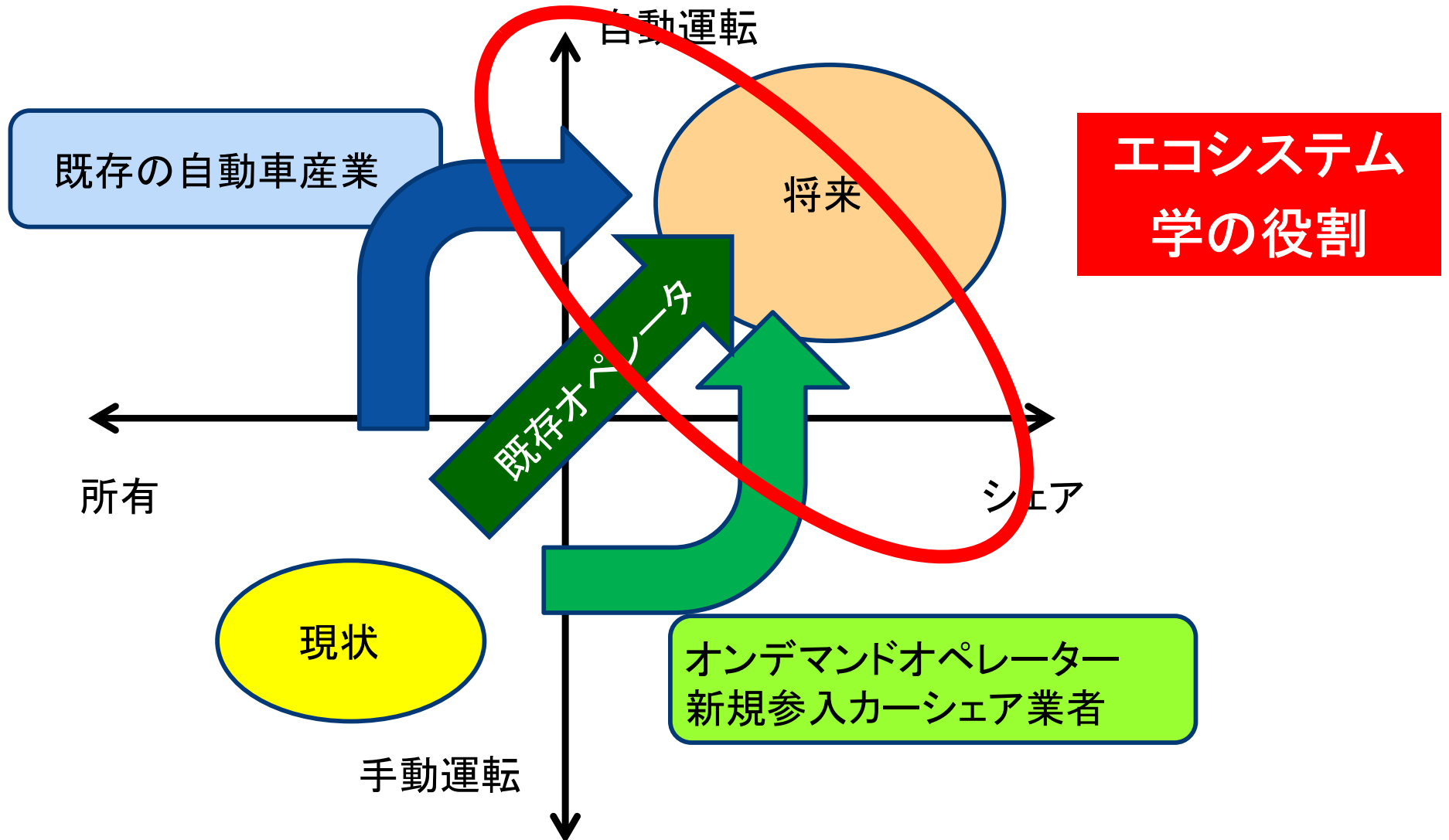
自動運転



融合・総合的な取り組み
社会受容性 制度設計

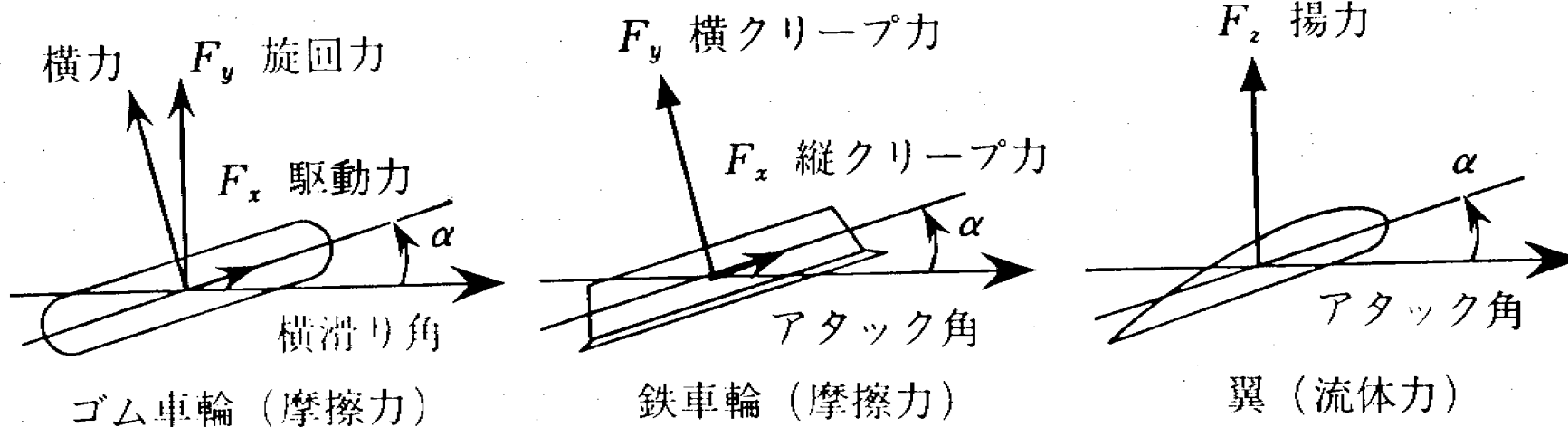
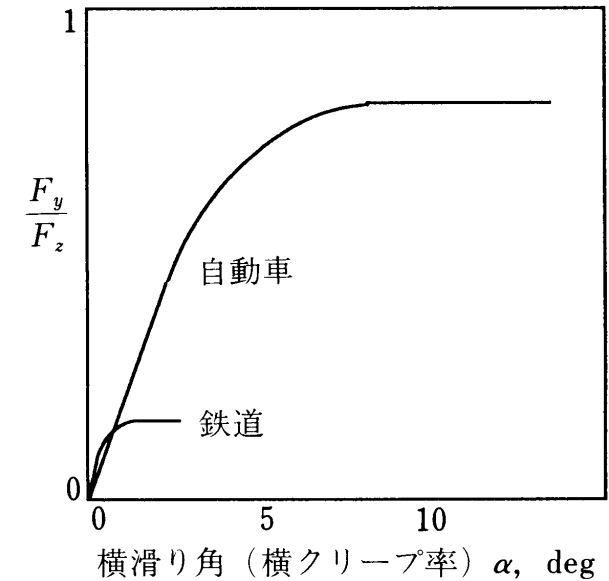
ITS: Intelligent Transport System 高度道路交通システム

モビリティ・オペレーションの変革



自動車と鉄道, ビークルの比較

- 旋回のメカニズム
- 自動車 コーナリングフォースを利用
- 鉄道 横圧を働かせないで旋回





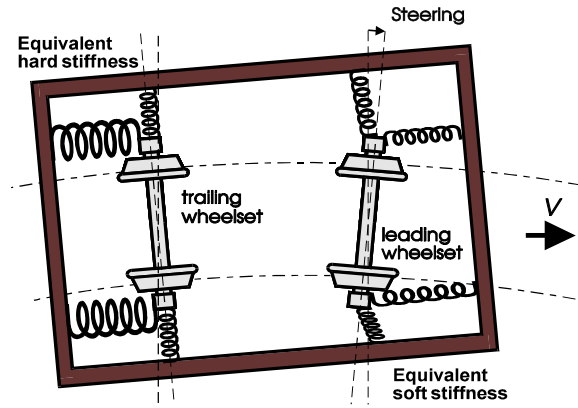
鉄道における研究成果の実用化



「ワイドビューしなの」で実用化した
前後非対称方式自己操舵台車

(~1995)

[東海旅客鉄道との共同研究]

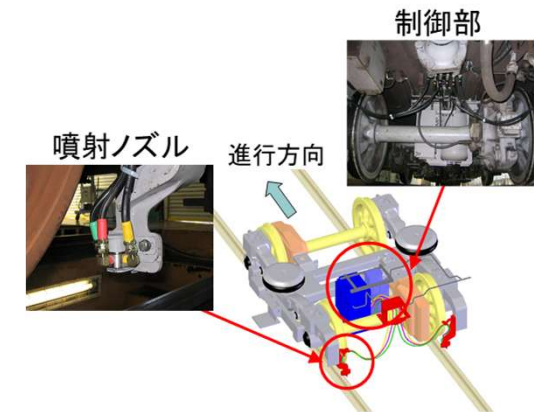


環境心理学を用いた座席配置
の評価手法

5人掛け、3人掛け座席配置の
提案

東急7000系で実用化(2007)

[東急車輛との共同研究]



摩擦調整材の車上噴射による摩擦制御
東京メトロ、住友金属、
住友金属テクノロジーとの共同研究
丸の内線、千代田線で実用化(~2007)



柏の葉 自動運転バス 営業実証走行 インフラ協調によりレベル4を目指す





経済産業省・国土交通省

RoAD to the L4

自動運転レベル4等先進モビリティサービス
2021-2025



CooL4 プロジェクト L4による特定自動運行開始予定 @柏市



地域社会における次世代モビリティ

地域の将来に関わる様々な課題

周辺部の
交通不便地

自動車の
流入抑制

バリアフリー

ニュータウンの
活性化

P&Rの推進

...

地域の持つ様々な課題に対して、自動運転技術を活用し、どのように解決が
図れるのか議論・検討する必要がある【課題と技術のマッチング】

完全自動
運転バス

バスの正着

運転支援

定時性の
向上

...

MaaS

柏ITS推進協議会 (2010年2月設立総会～)

(1) 設立目的

- ITS(Intelligent Transport Systems:高度道路交通システム)を活用し、柏の葉地域において、「低炭素型交通都市」・「次世代型環境都市」を実現するための各種研究開発の推進、及びそれらの事業化・実用化に資する活動を行うことを目的とする。

(2) 事業内容

- 事業内容は主に以下の4項目
 - ①ITSの推進に係る調査・研究開発の推進
 - ②ITSの事業化に関する各種取組みの支援
 - ③ITSの推進に係る情報発信及び広報活動
 - ④その他, ITS事業の目的を達成するために必要な活動



柏の葉自動運転バス
(太田市長)



公共交通柏アプリ開発試行

柏駅前デジタル
サイネージ実証実験

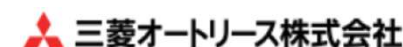


自動運転バスの実証実験参加団体

- 東京大学 モビリティ・イノベーション連携研究機構
- 東京大学 生産技術研究所
- 東京大学 大学院新領域創成科学研究科
- 柏市
- 先進モビリティ株式会社
- 東武バスセントラル株式会社
- 三井不動産株式会社
- BOLDLY株式会社
- 柏の葉アーバンデザインセンター（UDCK）
- パシフィックコンサルタンツ株式会社
- 損害保険ジャパン株式会社
- 三菱オートリース株式会社
- 愛知製鋼株式会社
- コイト電工株式会社
- 株式会社IHI
- 日本信号株式会社



東武バス



AICHI STEEL



2021年10月現在

自律システム と インフラ等協調

	メリット	課題
自律システム	通信やインフラ投資がないので低コスト	すべての道路環境に適合させるには技術開発がさらに必要
インフラ等との協調システム	交通信号との連携、悪条件化での対応、他車両との協調などにより高性能化	インフラ整備は限定的にならざるを得ず、インフラの維持管理も重要

広島公道実証実験 ASVサービスのシステム V2V



760MHz
双方向通信

- ・ 位置情報
 - ・ 速度と進行方向
 - ・ ウィンカーの有無
- などの情報を交換

路面電車と自動車のそれぞれで
受信した他車の情報と
自車の情報を比較

危険と判断したら
運転手 / ドライバーへ
注意喚起



自動車では、

- ・ 喚起チャイム音
- ・ ヘッドアップディスプレイ表示
- ・ シートの振動

でドライバーに注意喚起



路面電車では、

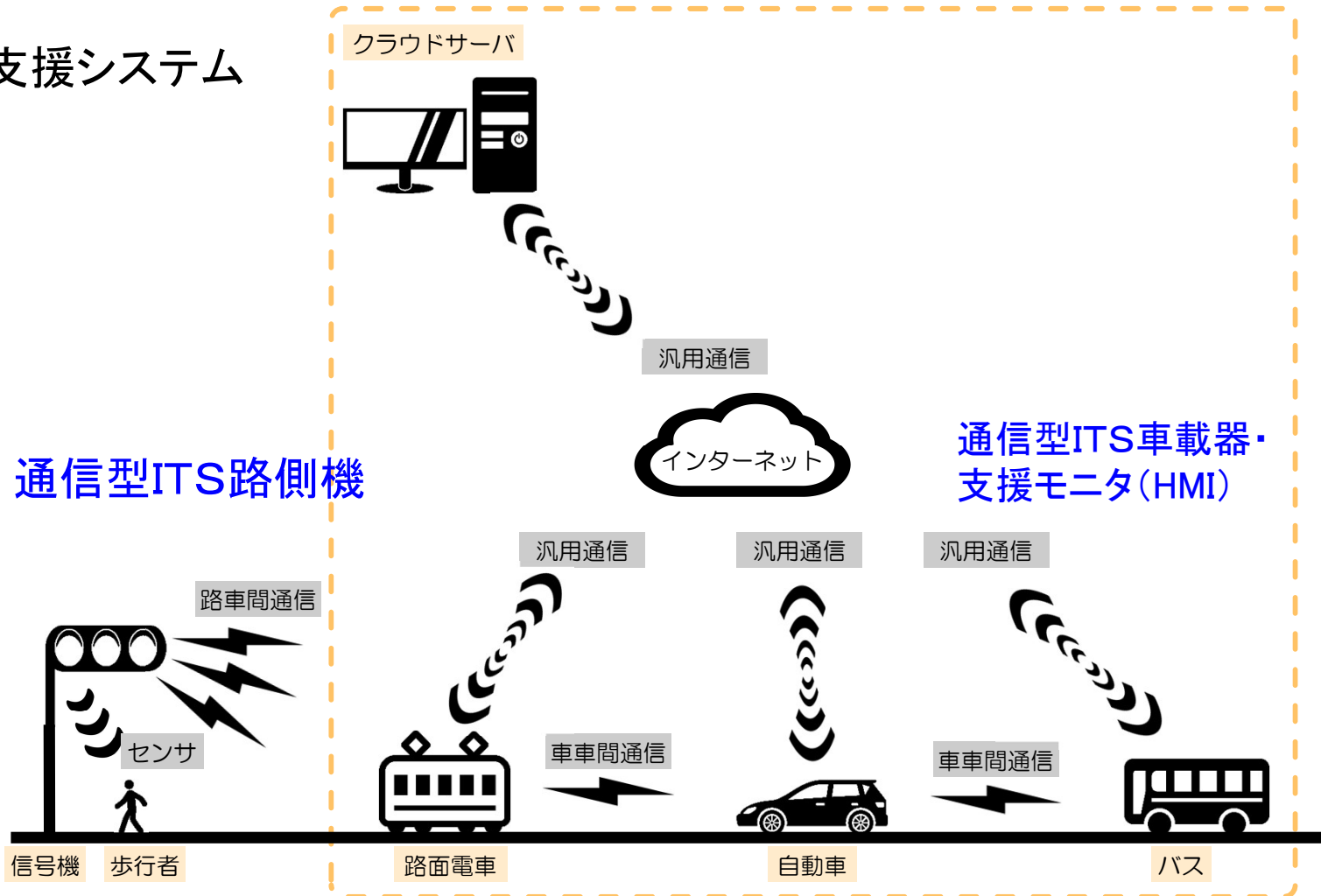
- ・ 音声案内
- ・ ディスプレイ表示

で運転手に注意喚起



通信型ITS実証プロジェクトの取り組み(広島市)

安全運転支援システム
イメージ



モビリティにおける最近のトレンド

- 自動運転 V2X SDV
- ビッグデータ解析
 - AI 機械学習
- 状態監視
 - CBM
 - OBD
- 生成AI
- 基本性能の評価

道路交通における自動運転

- 実装化への課題
 - 技術開発
 - センサー
 - AI アルゴリズム
 - 安全性・信頼性向上
 - コストダウン
 - 制度整備・政策検討
 - 社会受容性の醸成
- エコシステムの確立が重要





運転自動化レベルの定義の概要

レベル	概要	操縦※の主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行		
レベル 0 運転自動化なし	<ul style="list-style-type: none">運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者
レベル 1 運転支援	<ul style="list-style-type: none">システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
レベル 2 部分運転自動化	<ul style="list-style-type: none">システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが（作動時は）全ての動的運転タスクを実行		
レベル 3 条件付運転自動化	<ul style="list-style-type: none">システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答	システム (作動継続が困難な場合は運転者)
レベル 4 高度運転自動化	<ul style="list-style-type: none">システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム
レベル 5 完全運転自動化	<ul style="list-style-type: none">システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に（すなわち、限定領域内ではない）実行	システム

人間の運転
安全運転支援

自動運転

原典：官民ITS構想・ロードマップ2019 報告書

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議



専用道路・専用軌道における無人自動運転

- 新交通システム
- IMTS
- エコライド
- 専用道



鉄道の自動運転:

高度なセンシング・判断はドライバー

鉄道の完全自動運転:

専用軌道により高度なセンシング・判断を排除

鉄道の自動化レベル

自動化レベル		乗務形態イメージ	導入状況
GoA0	目視運転	運転士（および車掌）	路面電車
GoA1	非自動運転	運転士（および車掌）	踏切などがある一般的な路線
GoA2	半自動運転	運転士 （列車起動、緊急停止操作、避難誘導）	一部の地下鉄など
GoA2.5	添乗員付き自動運転	前頭に運転士以外の係員 （緊急停止操作、避難誘導）	JR九州
GoA3	添乗員付き自動運転	前頭以外に乗務する係員 （避難誘導）	一部のモノレール
GoA4	自動運転	係員の乗務なし	一部の新交通など



日比谷線
GoA2
1961～

※ 国土交通省の資料などを基に作成

JR九州 香椎線
FS-ATS 踏切あり
GoA2.5
2024～



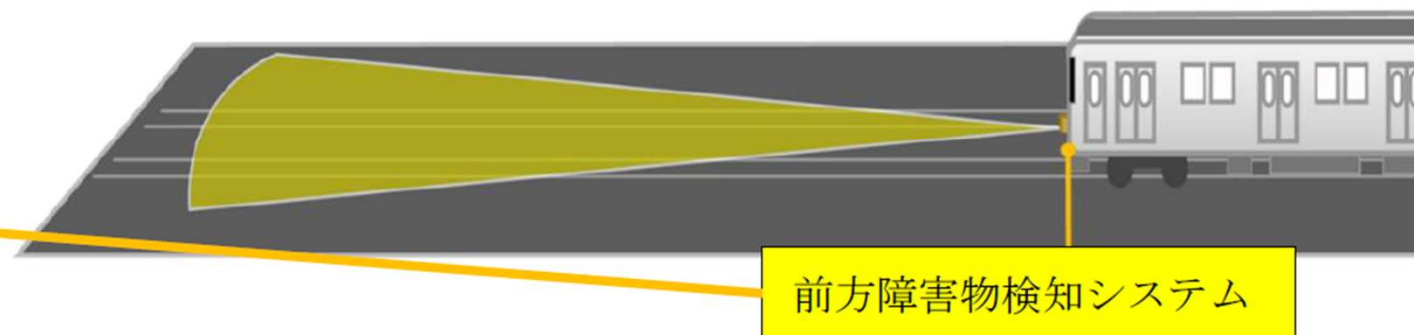
東武鉄道における導入検討

2021～ 目標GOA3

自動化レベル	乗務形態のイメージ ([] 内は係員の主な作業)	国内の導入状況
GoA0 目視運転	 運転士 (および車掌)	路面電車
GoA1 非自動運転	 運転士 [列車起動、ドア扱い、緊急停止操作、避難誘導等]	踏切がある等の一般的な路線
GoA2 半自動運転	 先頭車両の運転台上に乗務する係員 [緊急停止操作、避難誘導等]	一部の地下鉄 等
(GoA2.5) (緊急停止操作等を行う係員付き自動運転)	 先頭車両の運転台上に乗務する係員 [緊急停止操作、避難誘導等]	無し
GoA3 添乗員付き自動運転	 列車に乗務する係員 [避難誘導等]	一部のモノレール
GoA4 自動運転	 係員の乗務無し	一部の新交通 等




















△試験車両



△前方障害物検知システムによる試験 (イメージ図)

自動化の機能定義とレベル定義

Function	Applicability	Covered in LoA	Covered in GoA
Lateral control	 	Yes	
Longitudinal control	  	Yes	Yes
External emergency handling	  	Yes	Yes
Doors opening/closing	 	No	Yes
Starting the journey	 	No	Yes
In-vehicle emergency handling	  	No	Yes
Route planning	 	No	

自動化のレベルの再定義？

Stage	Functionality	SAE LoA	GoA	Monitoring
0 – No automation stage	None	LoA 0		Driver
1 – Basic automation stage	Lateral control	LoA 1	GoA 1	Driver
2 – Driver assistance stage	Longitudinal control but hands always on steering	LoA 2	GoA 2	Driver
3 – Driving automation stage	External emergency handling (No driver needed)	LoA 4/5	GoA 3	Attendant
4 – Complete automation stage	Internal emergency, open/close door and start the journey on its own (No attendant needed)		GoA 4	System

鉄道の自動運転の目的

- 事業者目線のメリット
 - 運転士不足
 - 業務効率化
- 利用者目線のメリット
 - フレキシブルな運行
 - 高頻度運行

6つのセルフ技術

- セルフステアリング
- セルフドライブ
- セルフルーティング
- セルフパワー
- セルフチェック
- セルフメンテナンス

□ A 自動運転

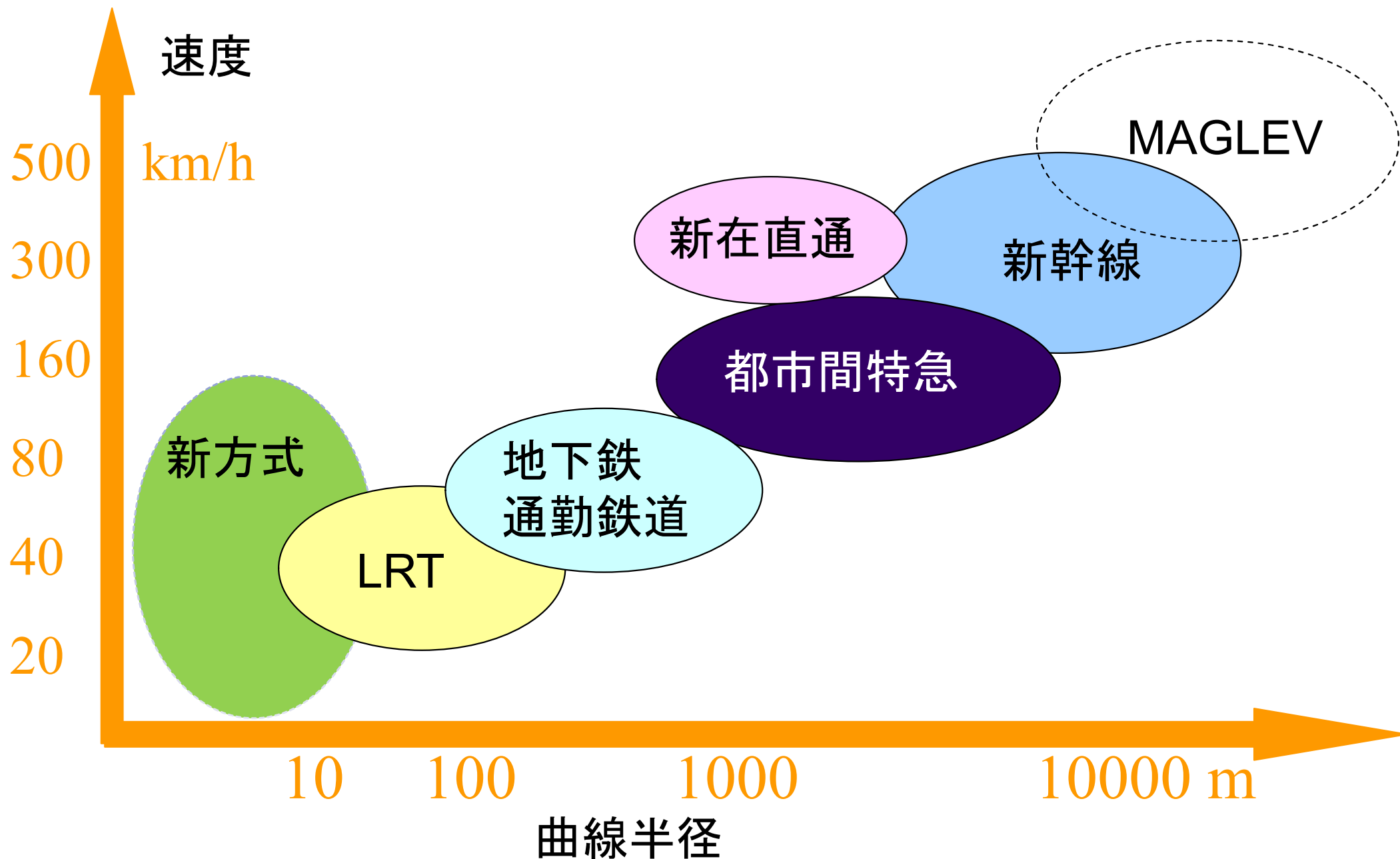
□ E

□ C

□ S

□ MaaS

曲線半径と列車速度の関係



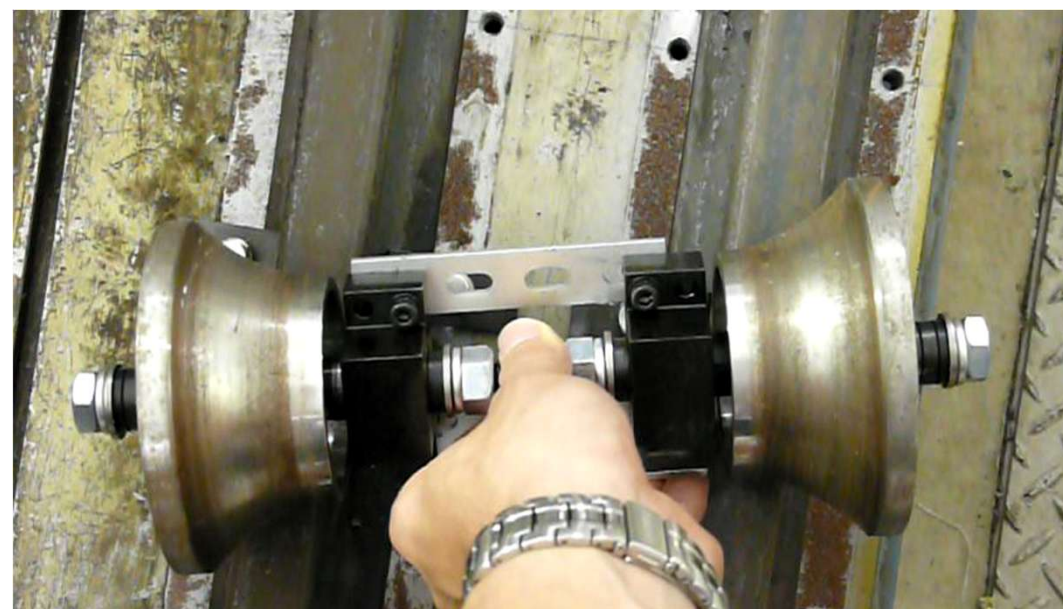
逆踏面勾配車輪 独立回転車輪 輪軸

通常の独立回転車輪輪軸の挙動



通常の独立回転車輪:

倒立振り子作用 静的不安定

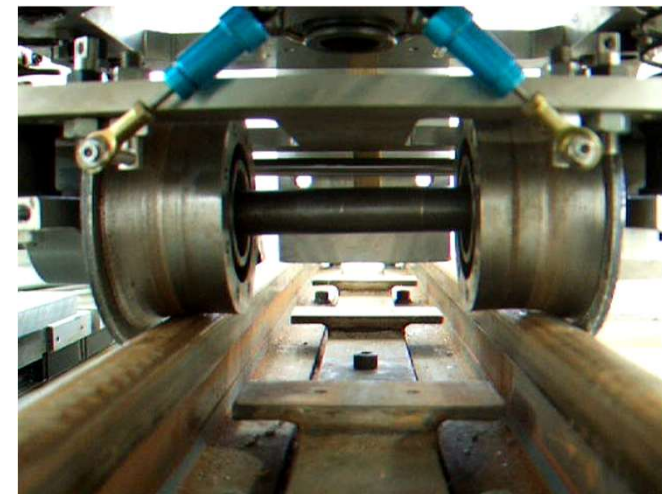
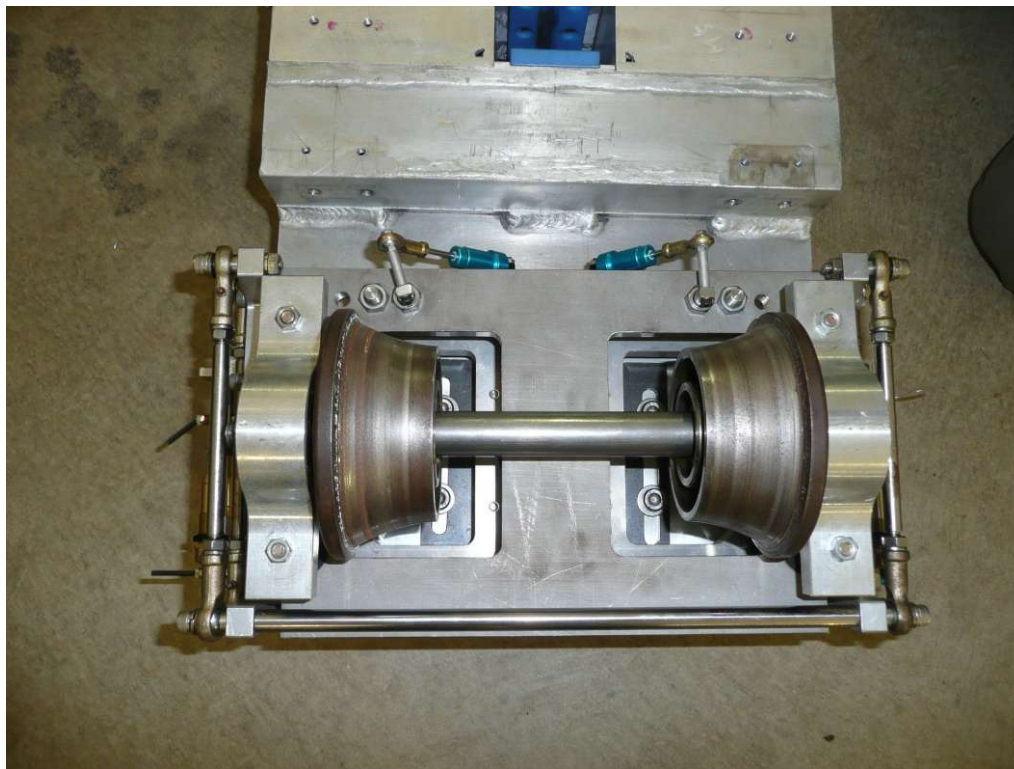


提案する逆踏面勾配独立回転車輪:

安定な振り子作用

逆勾配踏面独立回転輪軸の提案

- 車軸付き独立回転車輪に操舵機能を付加
- 独立回転車輪の新たな可能性



独立回転 逆踏面勾配車輪 1／1スケール車両 走行試験

- 前輪のみ左右独立駆動
- 柏キャンパス 千葉試験線 R30

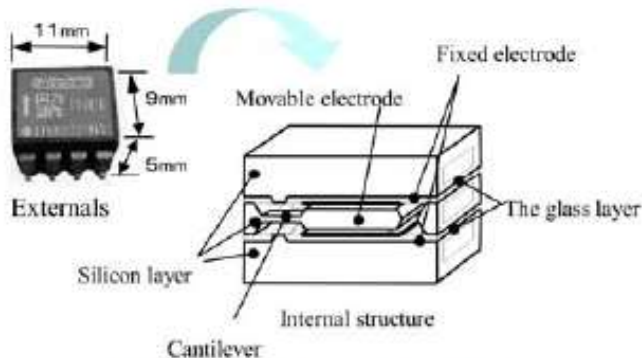
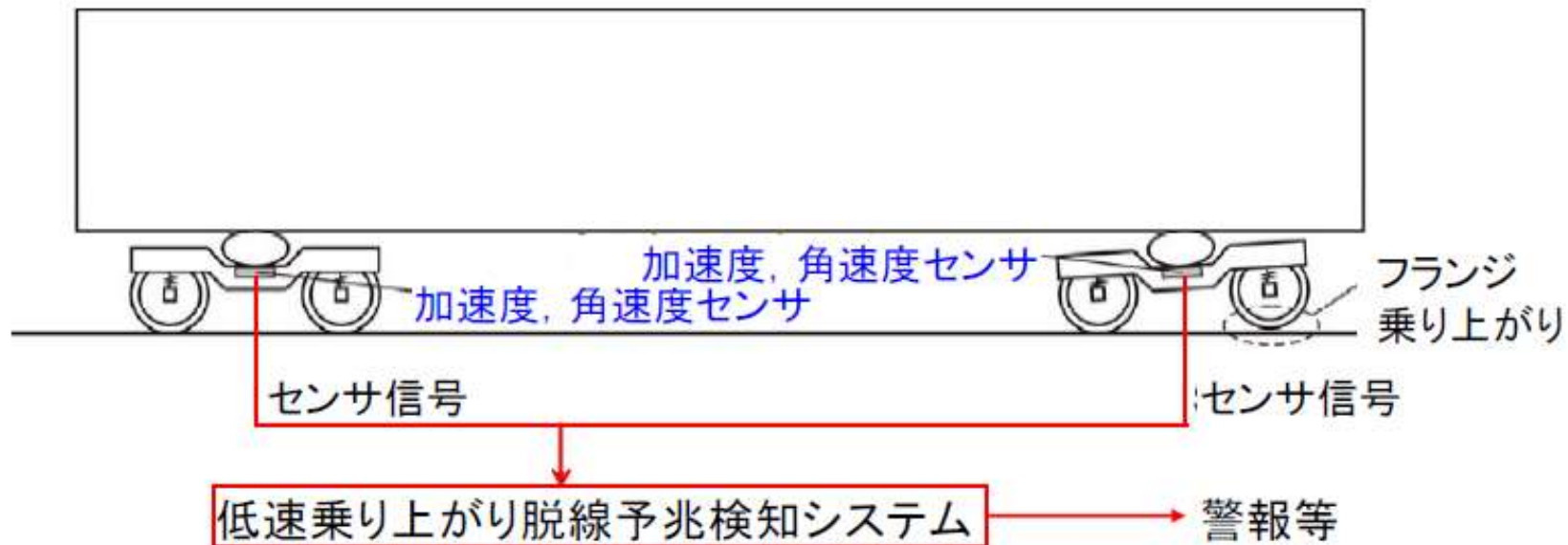


状態監視

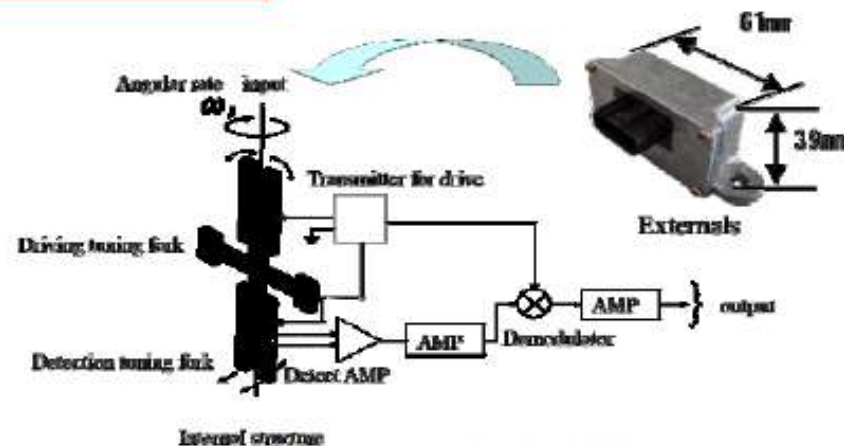
- 車上計測か地上計測か
- メリットとデメリット
- 車両数と路線延長
- 相互直通

車上・地上データへのLSTMモデルを用いた
脱線係数予測

脱線予兆検知 車上センサによる車両の異常検知

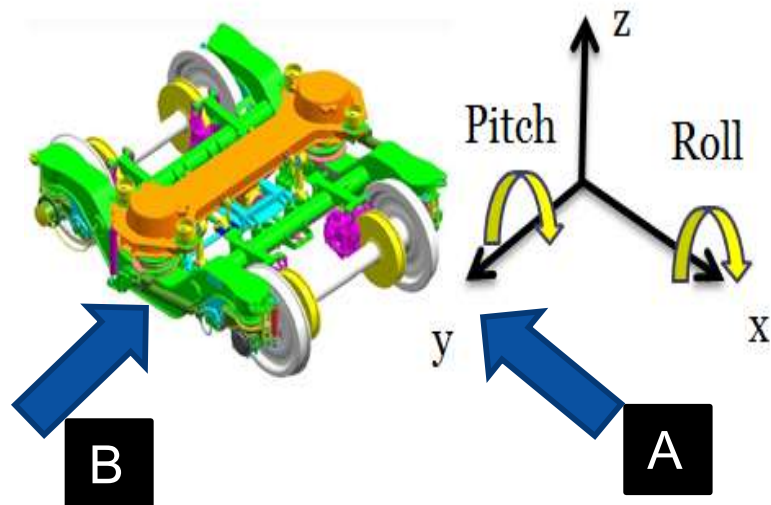
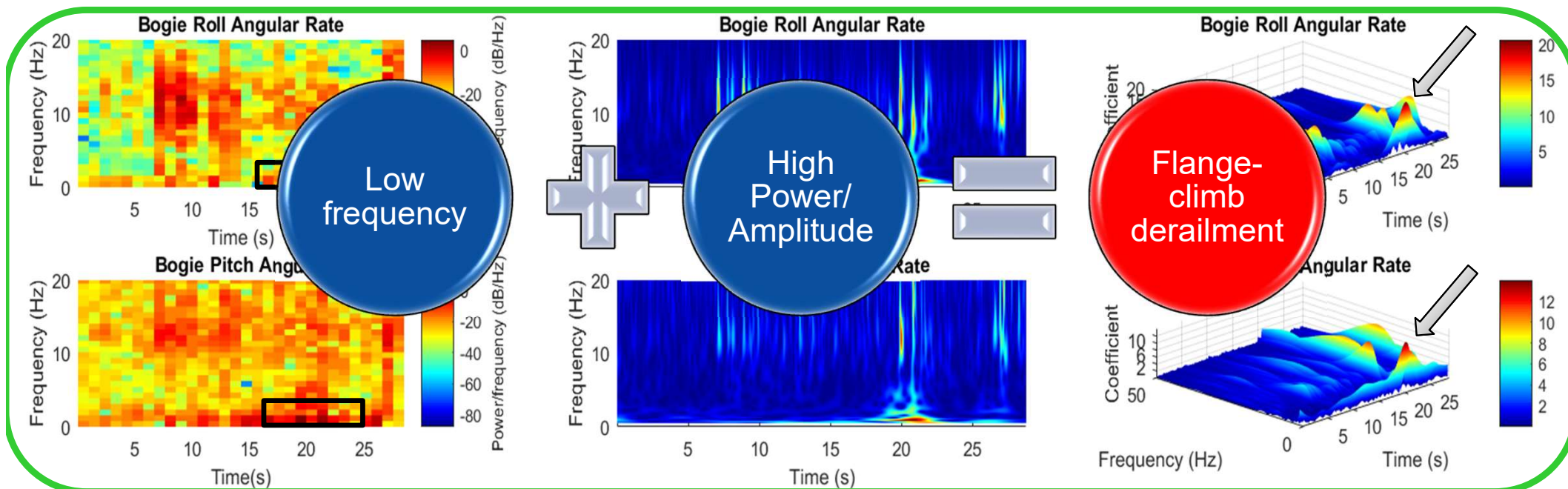


MEMS加速度センサ



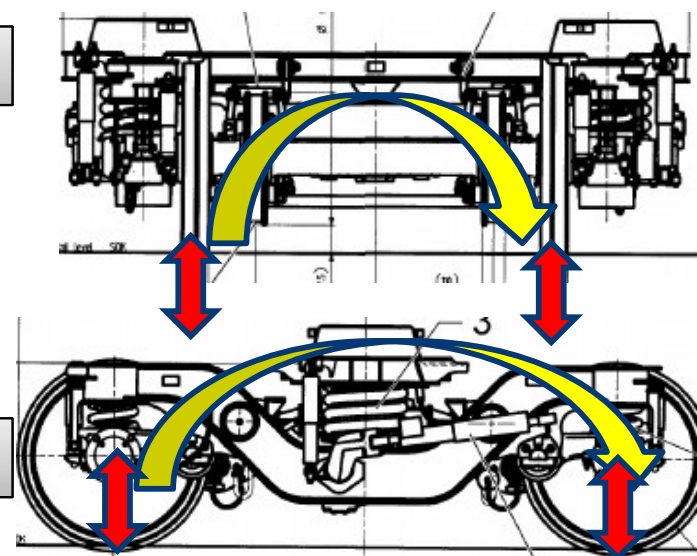
水晶音叉型角速度センサ

周波数領域・Waveletの活用

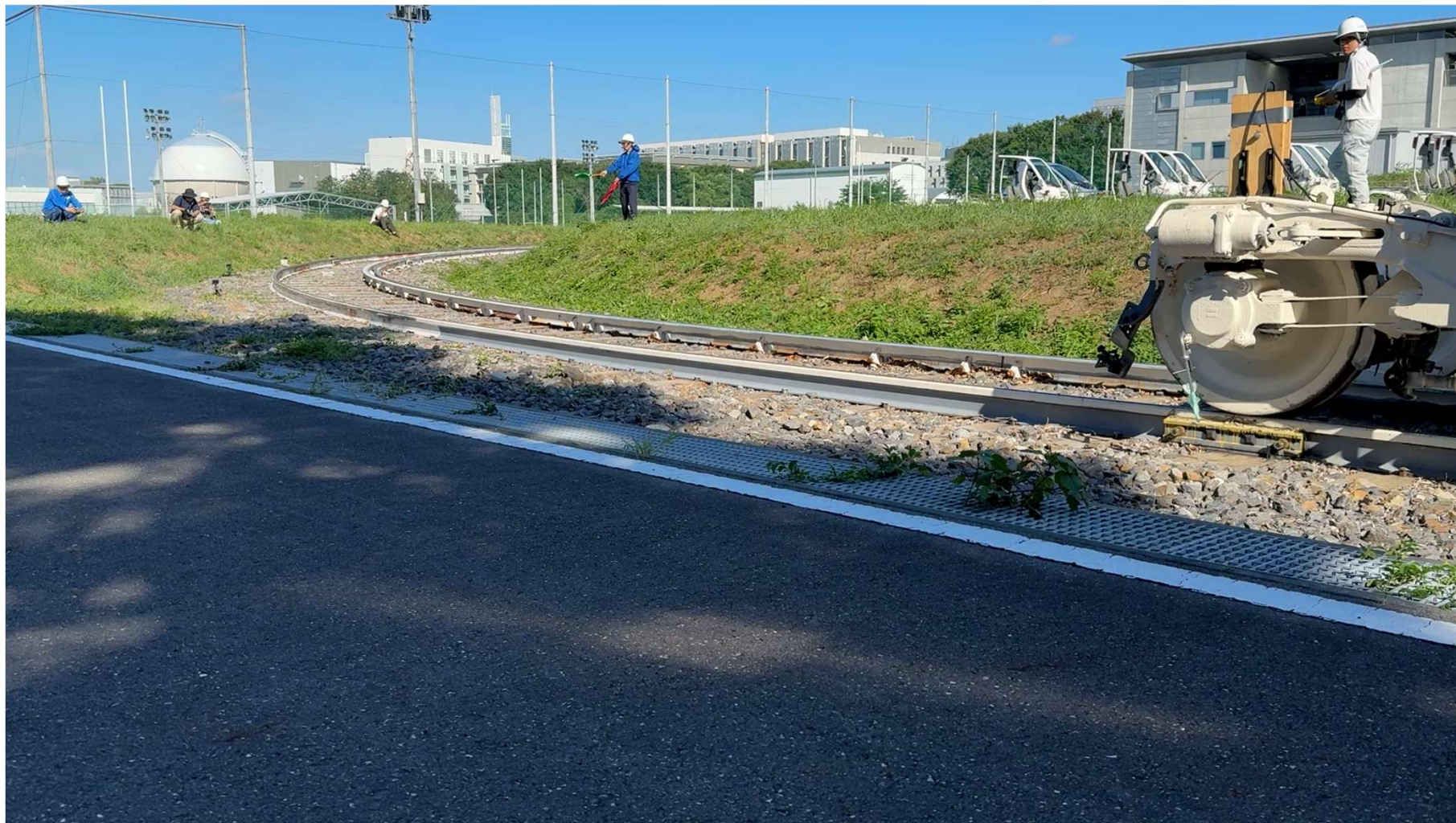


A – Roll Angular rate

B – Pitch Angular rate



乗り上がり脱線の再現@柏 輪重アンバランス台車の活用



自動運転 GOA4 に向けた課題

- 一般路線へのGOA4の実装
 - 障害物対策
 - ホーム
 - ホーム柵
 - 踏切
 - ITS・自動運転
 - 歩行者
 - 動物(主に鹿)



どこでも柵®
乗降位置可変型可動式ホーム柵の開発



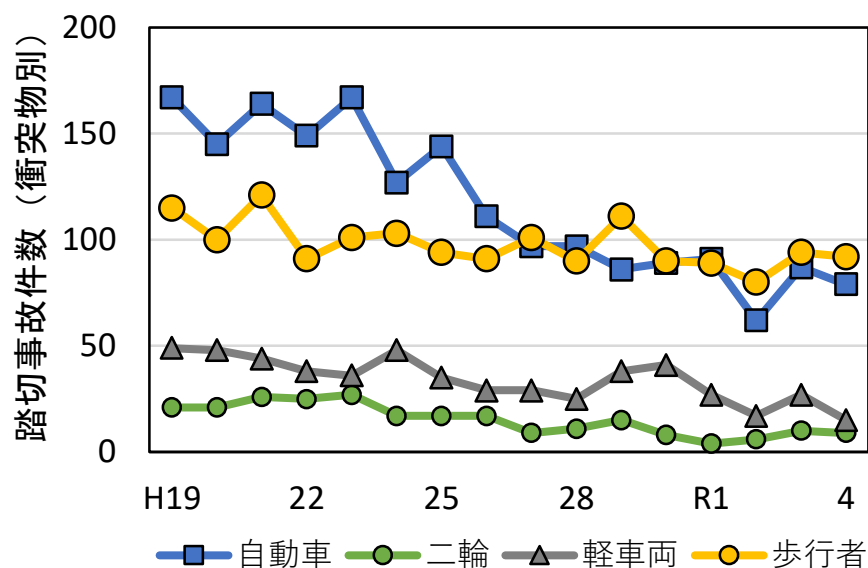
レベル4特定自動運行と GOA4鉄道における踏切問題 (どちらもドライバレス)



自動運転と踏切連携検討へ

踏切の安全対策に関する研究

踏切事故の推移



踏切事故件数の推移（衝突物別）⁽¹⁾

令和3年度の踏切事故発生状況⁽¹⁾

事故件数：195 件（鉄道の運転事故うち 33 %）

死傷者数：137 人（鉄道の運転事故うち 27 %）

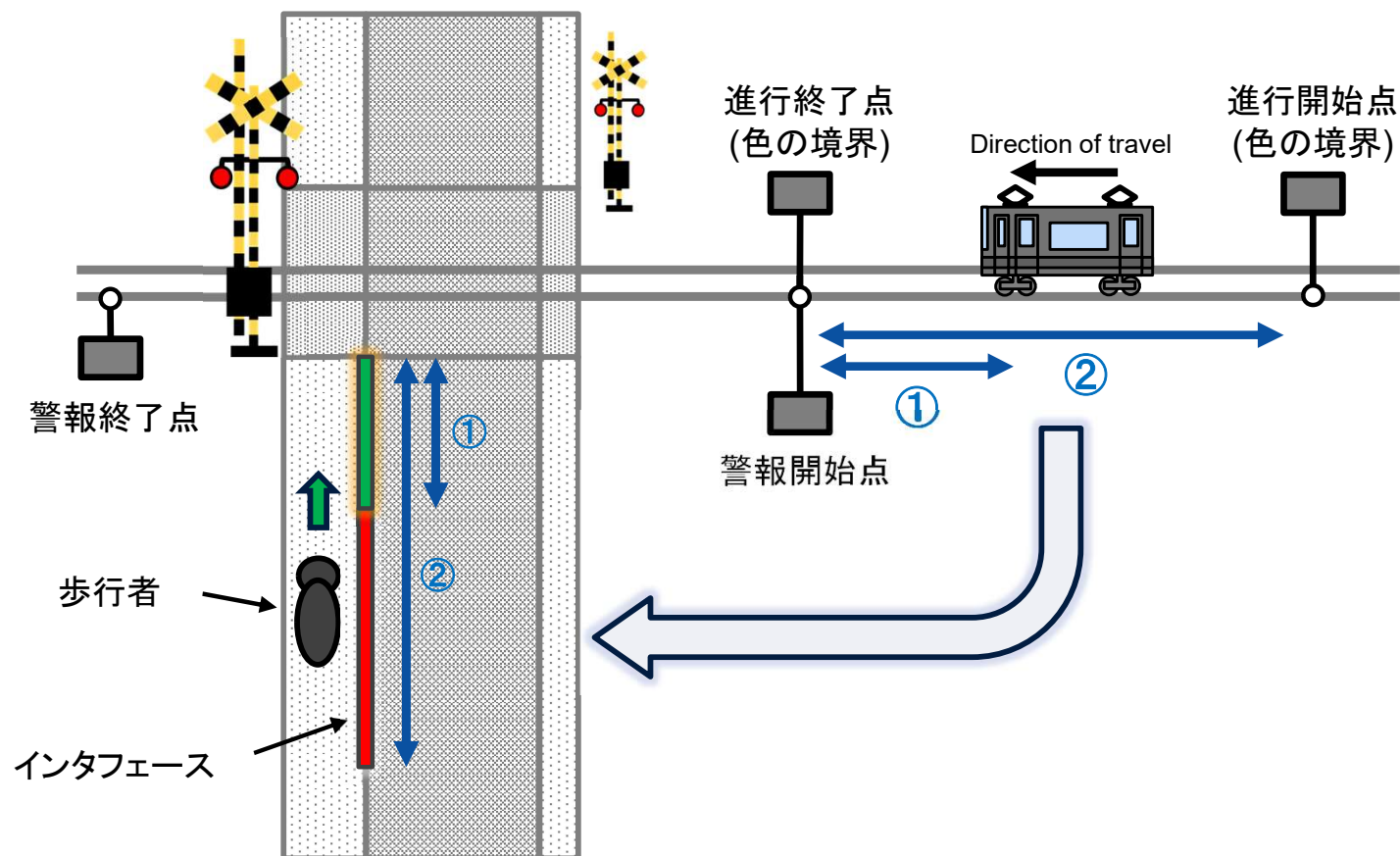
- 踏切事故の件数は長期的な減少傾向
- 自動車による事故: 漸減傾向
- 歩行者による事故: 横ばい傾向

踏切事故件数に占める
歩行者事故の割合が増加

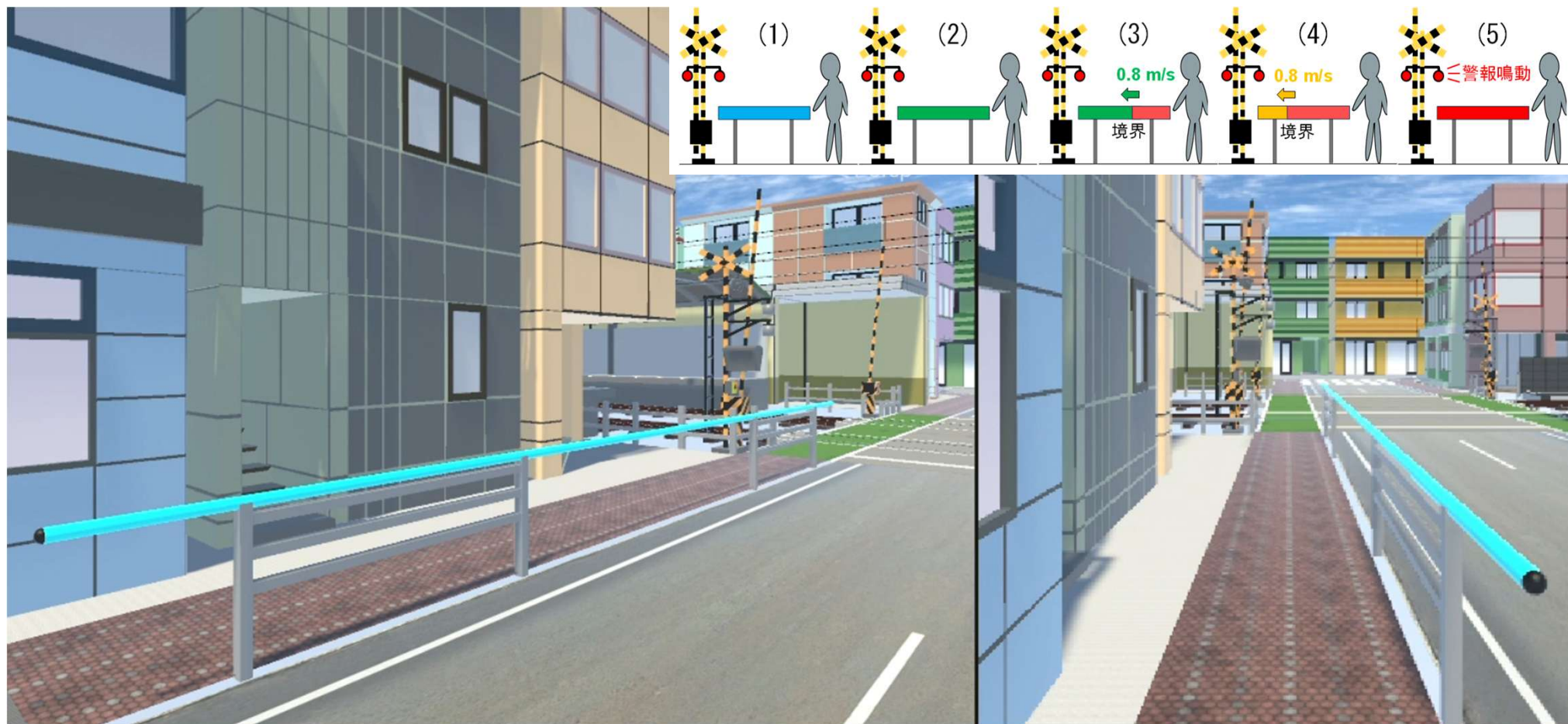
踏切横断歩行者に対する“新たな事故対策”が求められる

(1) 国土交通省：鉄道 統計・データ 鉄軌道輸送の安全に関わる情報の公表について（平成19年度～令和4年度）：
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk8_000001.html（参照日：2023年10月20日）

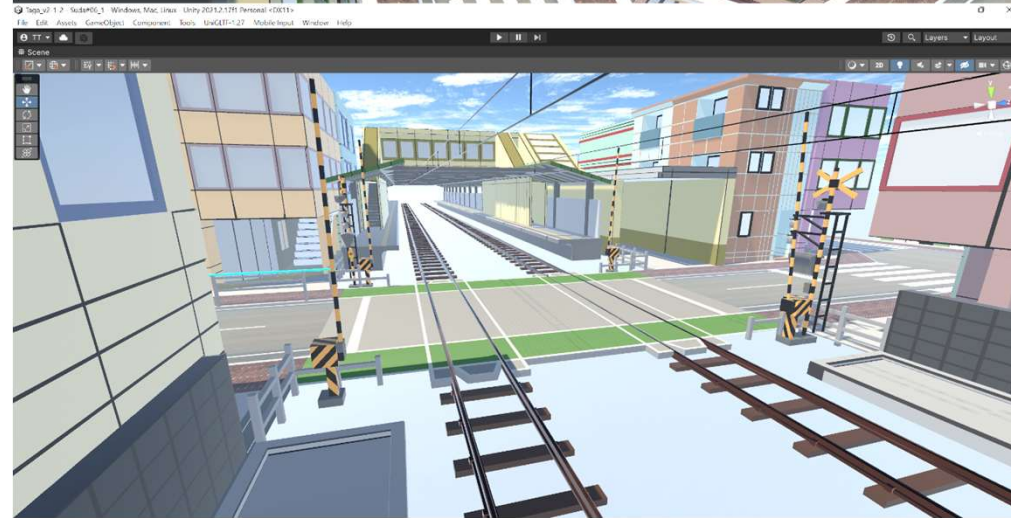
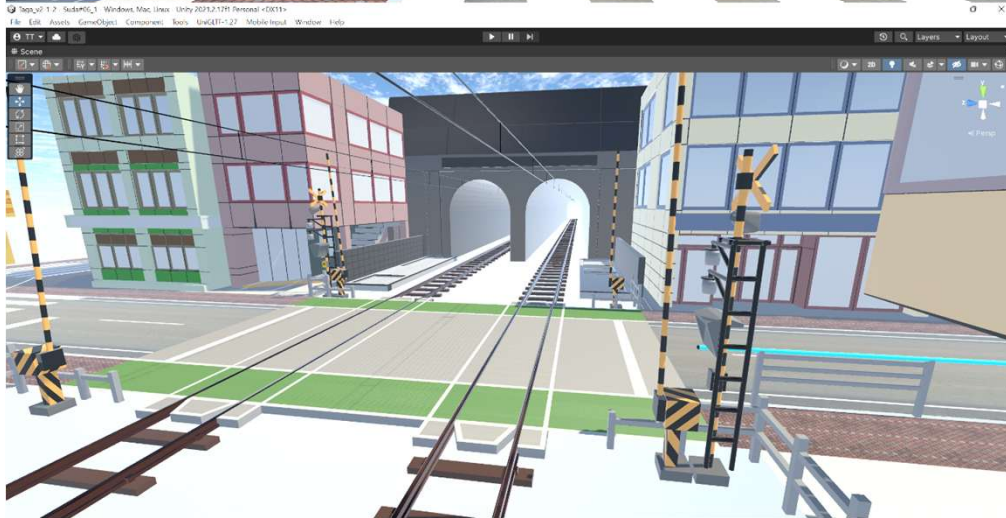
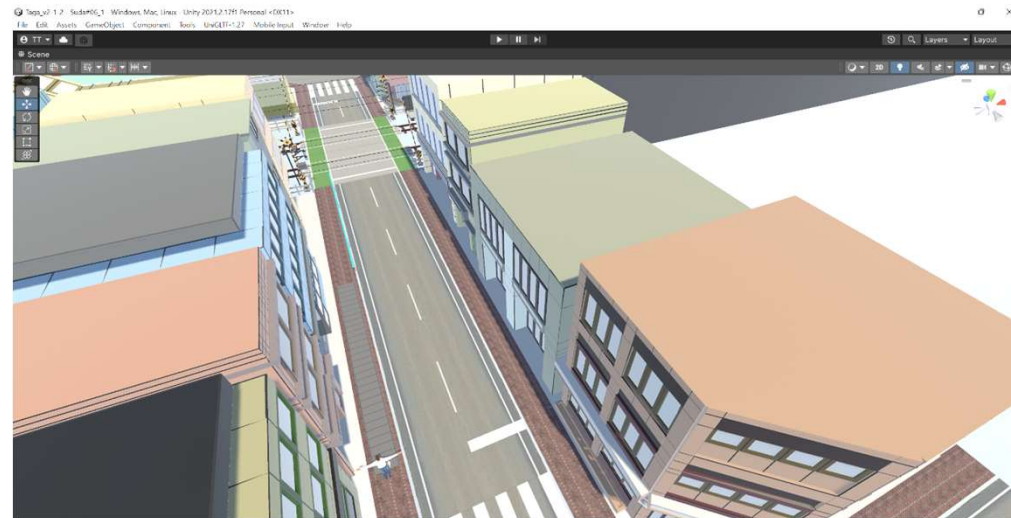
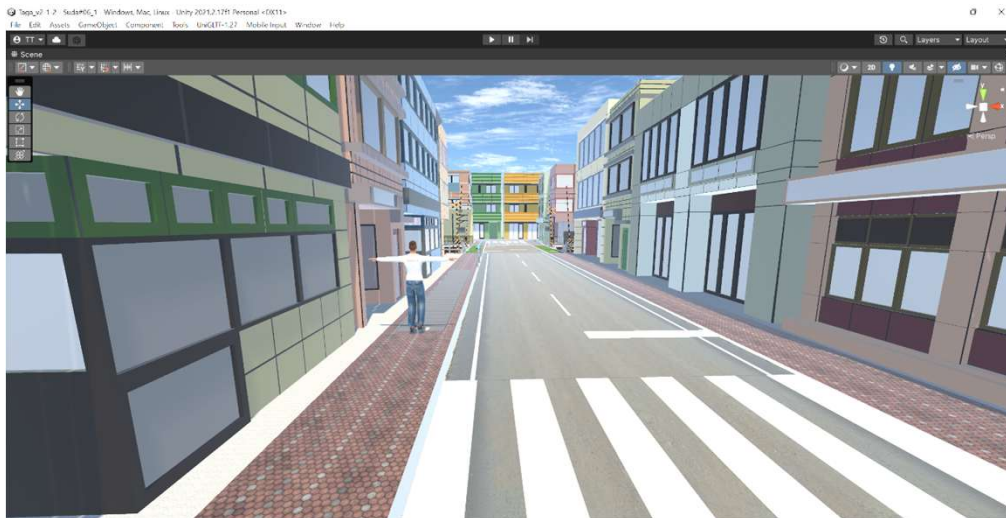
提案手法 プロトタイプの概要



提案手法 プロトタイプの概要



実験概要 (VR歩行実験) ⁴⁴VR実験環境



提案手法の評価



● 歩行者の行動変化

1. 踏切道までの「距離」と、警報鳴動開始時までの「残り時間」を逐次比較
2. 警報前進入に必要な歩行速度が自身の身体能力的に実現可能か判断

- 提案手法により、警報後進入を抑止する効果を確認
- 境界後方の情報提示が、視認性向上、理解性向上、行動判断の早期化などに効果発揮

踏切実験設備での実証試験の検討
プロトタイプの検討

柏公開2024でのデモ

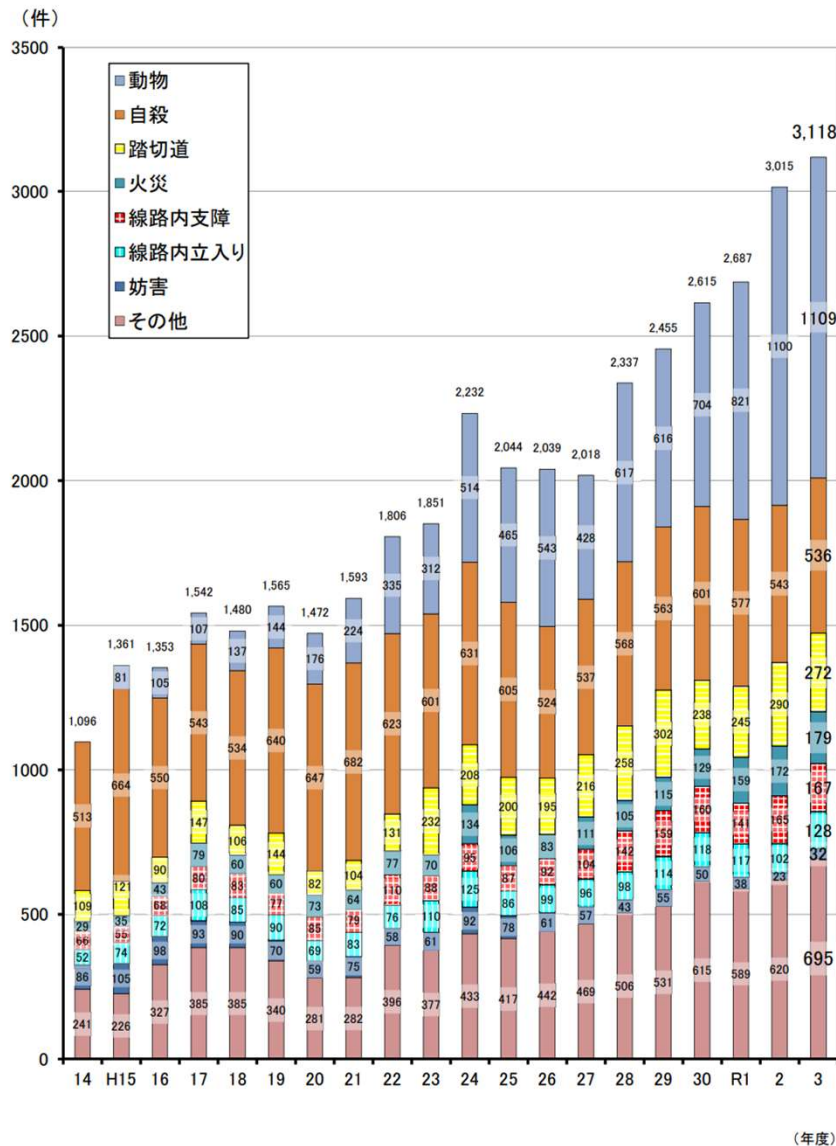


協力 京三製作所

鉄道車両の動物対策と 営業線上での検証実験

- 鉄道における動物との支障は近年増加傾向
- 都市圏よりも地方圏での影響が顕著
- 柵や罠など地点に応じた対策が取られている
- 車両側で対策することはできないか？
- 今後自動運転でドライバレス運行では大きな課題

鉄道輸送での動物支障の実態



動物による輸送障害

2020年度と2021年度は1000件超

他の要因と比べて急速に増加

図23: 輸送障害(部外原因)の内訳

引用: 鉄軌道輸送の安全に関わる情報(令和3年度), 国土交通省鉄道局

動物に対する主な対策

- 柵により侵入を防ぐ
 - 一部区間を重点的に防護できる
 - 全区間を柵で覆うのはコストやメンテナンスに課題
- 地域の個体数を管理する
 - ライセンスが必要で専門人材も不足

光学的な対策

- ヒトデ由来抽出物のマリンサポニンが有名
- 塗料や成分入りテープが市販されている
- テープを柵のように使って効果があったとの先行研究あり

忌避剤入りテープ

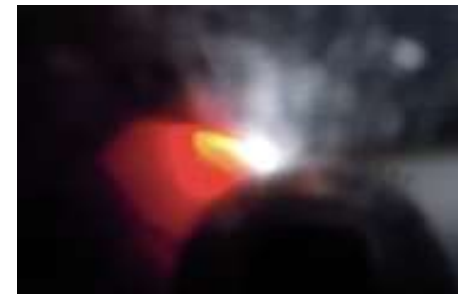
人間と動物での見え方の違い



Crow repelling tape and stickers.
Source: <http://www.karasu-kun.com/>



人間の視覚



動物の視覚
(模擬)

Marine Saponin under ultraviolet. Source:
<http://www.kankyo-v.co.jp/>

京都丹後鉄道 宮舞線・宮豊線 における 実証実験 車両へのテープ取り付け 第1回 2023.7.10-31



対策あり1号車(KTR801)

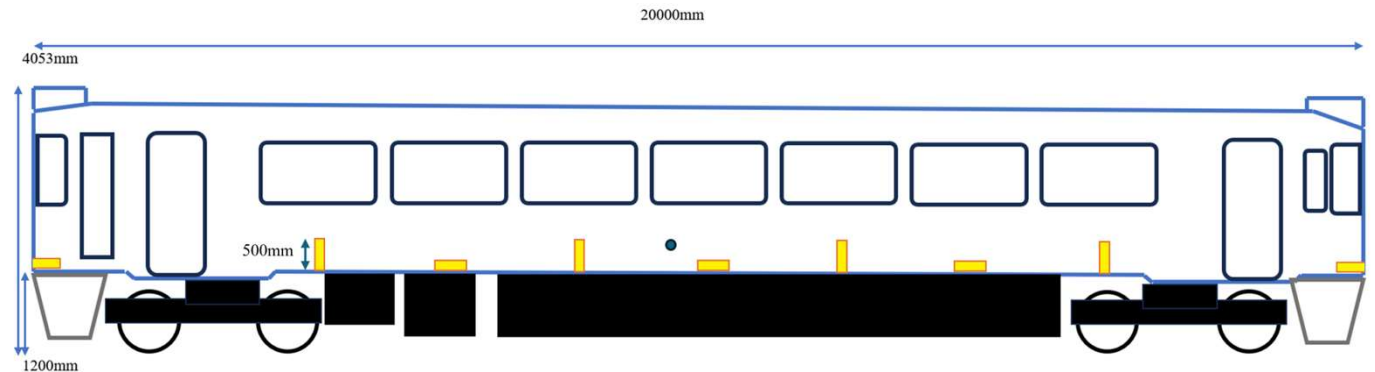
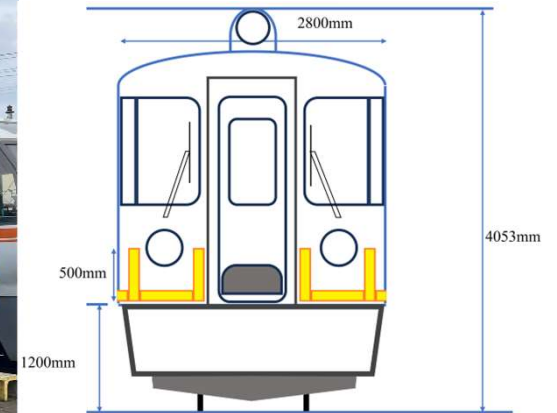


対策あり2号車(KTR803)

※灯火の配置がほぼ同様のKTR700形車両2両を比較用の「対策なし」とした

第2回 2024.6.1-7.3

- 主な変更点
 - テープの貼り方
 - 両面→透明テープ
 - 側面新規設置 (0.4m²)
 - 前面設置変更 (0.35m²)
 - GoPro設定見直し



衝突しなかった場面

画像処理手法によって抽出

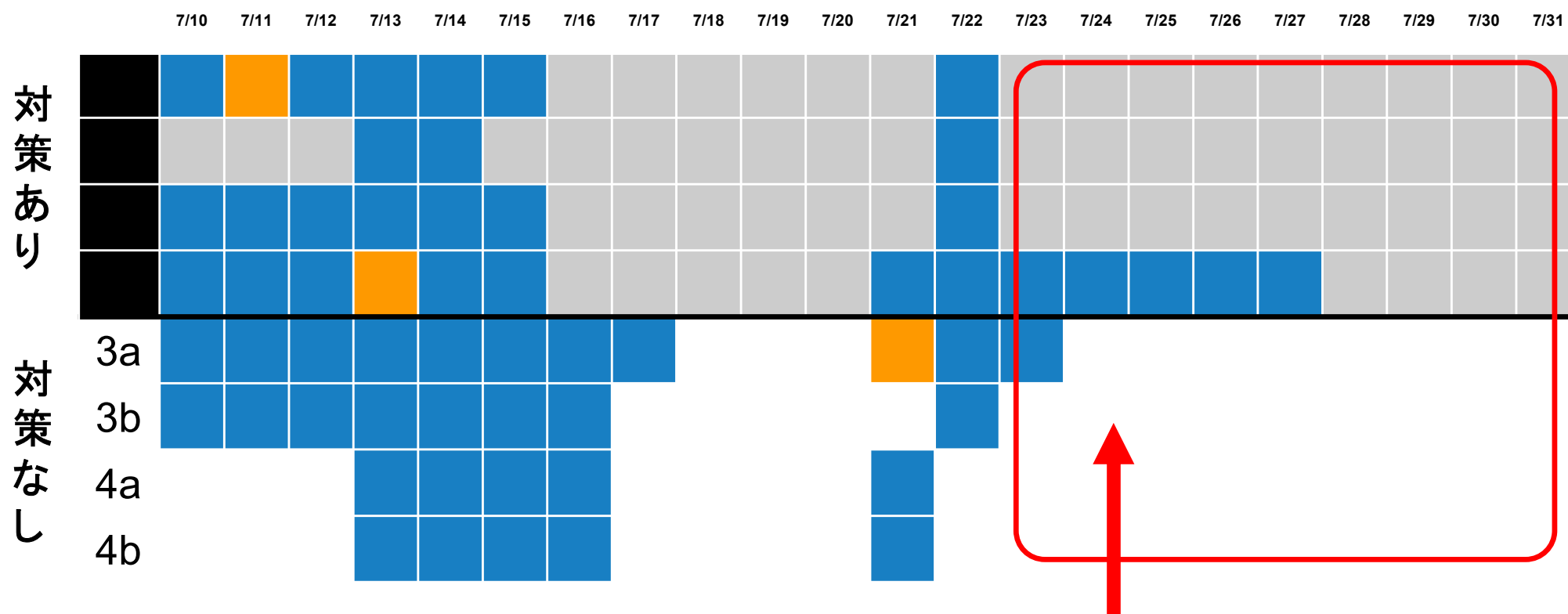


記録映像の集計

■ 録画映像あり

■ 鹿との衝突映像

a : 豊岡方, b : 西舞鶴方

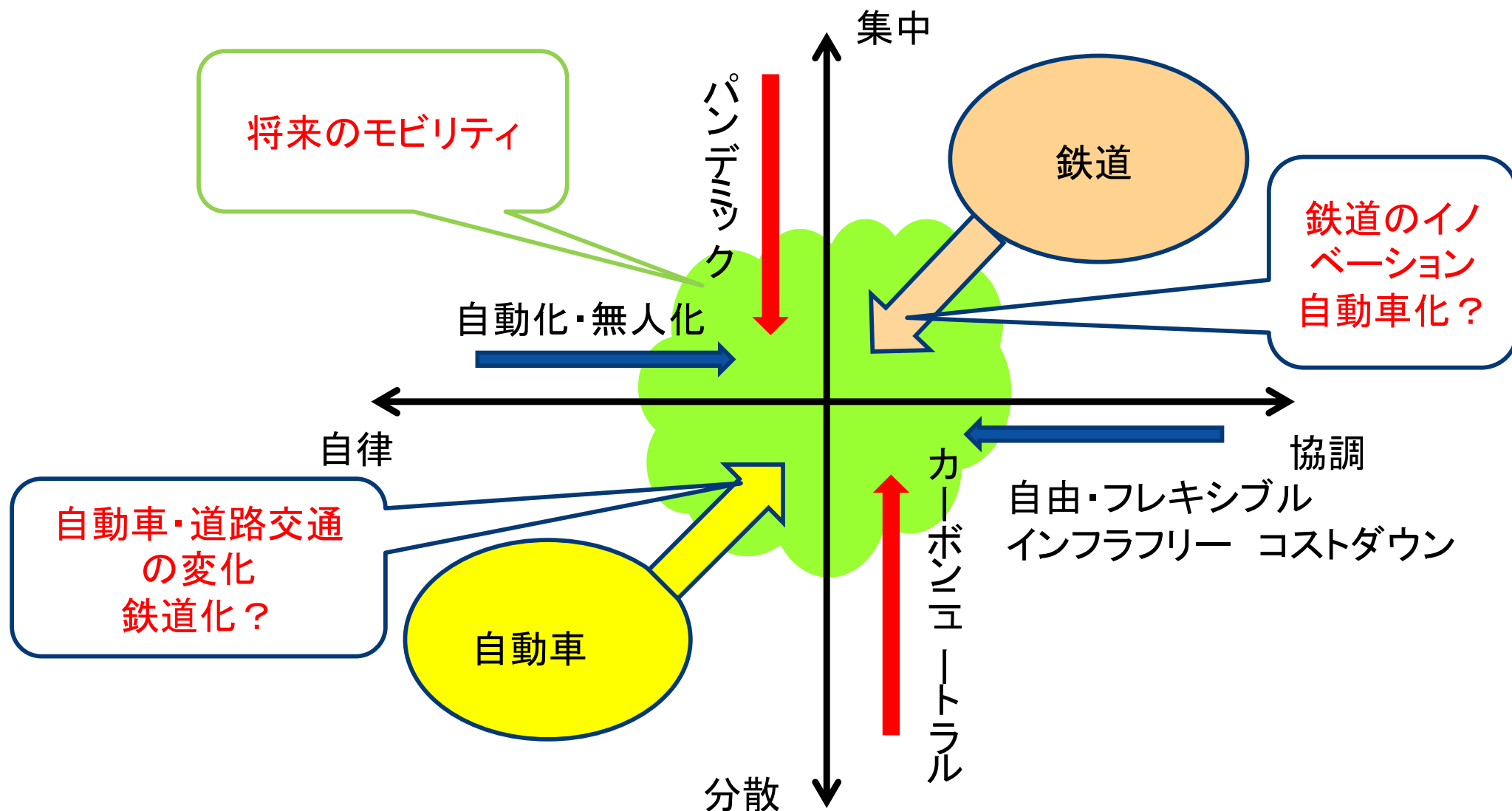


録画機材の不調で映像が取れていない場合があった

動物の行動は変化したか？

- 衝突した場合は乗務員からの報告があり記録されるが、動物と衝突しない遭遇もある。
 - 衝突しなければ、報告自体は義務ではない。
- 常時記録映像から動物を画像認識で抽出
- 衝突前に動物がよけていたならば忌避テープの効果も期待される。

今後のモビリティ社会



自律—協調 分散—集中 は 最適値が一意には決まらない

自動運転社会実装に向けて

- 社会受容性の醸成
 - 文理融合による検討
 - 産官学連携による人材育成
- 検討の迅速性
 - 果敢な挑戦や、機動性
 - エコシステムの構築
- 大学やベンチャー企業の役割
 - 国際連携拠点の設立
 - 地域との関係
 - 研究開発から実証実験、標準化、事業化まで一貫通関で実現
 - 産学官連携による迅速・果敢な研究開発
- 国および中立研究所の役割
 - 自動化を前提とした制度設計と検証