

第6回鉄道分野における新技術の活用に関する懇談会

新たなセンシング技術による 乗務員支援システムの開発

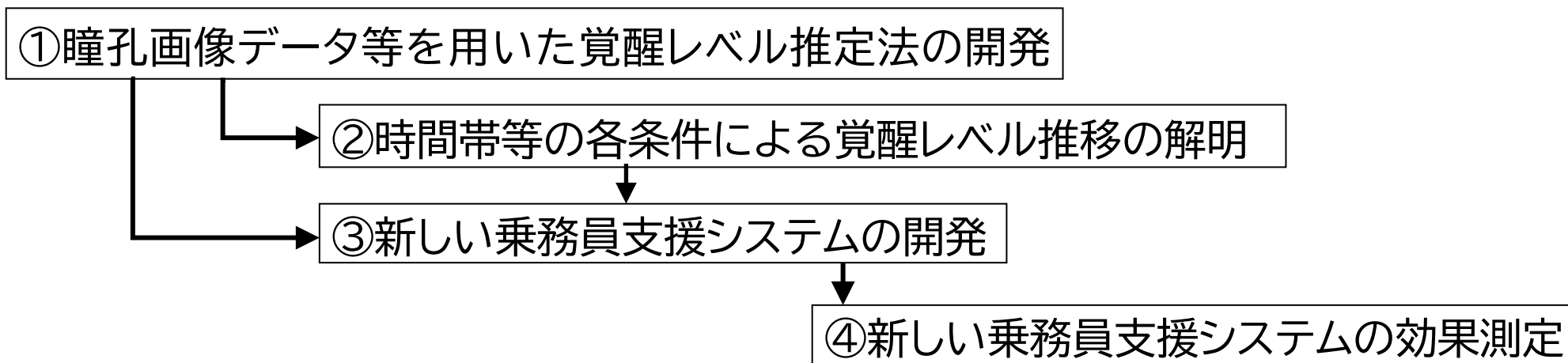
公益財団法人鉄道総合技術研究所
人間科学研究部 人間工学研究室
主任研究員 鈴木 綾子

■背景

- 鉄道運転士の勤務は、深夜早朝帯を含む不規則不定型の交替制勤務
- 近年では、運転士異常時列車停止装置や自動列車停止装置(ATS)等の整備も進み、運転士の眠気や居眠りが重大事故に結びつく可能性は大幅に減少
- 駅停車や徐行運転、異常時対応など、運転士の注意力に頼らざるを得ない状況も存在しており、運転中の眠気は重大な課題
- 各社、睡眠管理教育や休養室の整備など、様々な対策を講じているが、居眠りに起因した事故・インシデント・輸送障害は発生している
- 鉄道総研では、運転士の顔画像から覚醒レベルを推定し、警報音を提示するシステム開発に取り組んできた

■目的

- ・ 鉄道運転士の心身状態を画像等からセンシングし、注意を喚起すべき場合に警報を提示することで、覚醒レベル低下による事故等を防止するシステムを開発
- ・ 特に目等の微細な挙動に対する機械学習によるモデルを開発し、覚醒レベルの推定精度を向上させ、実用に耐えうるシステムを開発する



研究開発フロー

研究開発の背景

実用化された眠気検知装置

- 主に**自動車を対象**とした眠気検知システム

【覚醒レベル推定モデル】

検知する状態

- ・脇見
- ・〇秒以上、下を向く
- ・〇秒以上閉眼

等

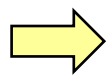


鉄道における課題

- 挙動範囲が異なる
- 前方注視以外の時間が異なる
- 覚醒レベルが過度に低下していない状況を推定できない

鉄道への**転用**が**難しい**

【警報提示】 自動車市場全般がターゲット



警報で覚醒させることを目的とするのではなく「**お知らせ**」機能が主流

鉄道総研での取組状況

【覚醒レベル推定モデル(2018~2021)】

- 鉄道運転士の挙動に対応
- 覚醒レベルを6段階で推定

覚醒レベルの低下が大きい段階から警報を提示することも可能



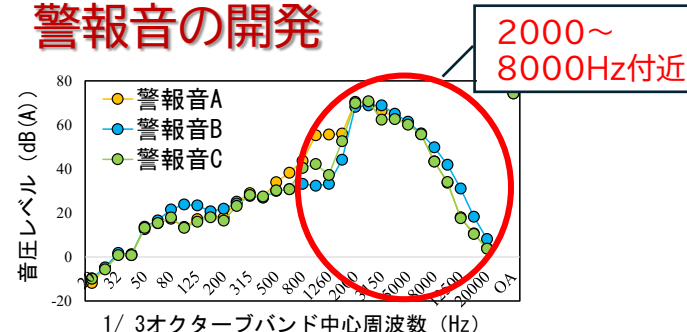
推定精度
80%

【課題】 精度向上

【警報提示手法】

- 警報に必要な要因の同定
- 走行音にマスキングされにくい警報音の開発

- 知覚性(聞こえやすい)
- 機能性(目が覚める)
- 識別性(他の音と取り違えない)



心理量・生理量・行動量で
効果を実証

【課題】 慣れの懸念

推定の精度向上と慣れを考慮した警報提示手法の必要性

成果①内容:顔画像データを用いた覚醒レベル推定モデルの開発

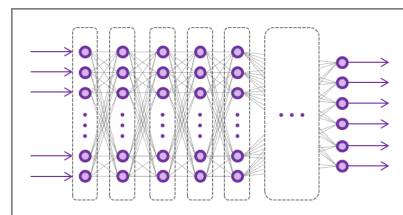
Railway Technical Research Institute

・ウェアラブルデバイスとカメラによるデータのアンサンブル学習

眼鏡型ウェアラブルデバイス
→変換ソフト



トレーニング用
データセット



眠気評定値
予測AIモデル

Time	Pred
T_0	3
:	:
T_N	6

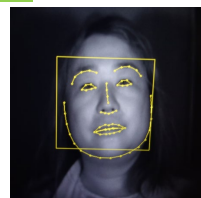
AIクラス
予測結果

3次元・時系列情報による推定

時刻対応

時間方向に結合

前方カメラ(既存モデル)



映像データ

$f(x; \theta)$
眠気検知システム

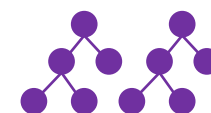
Time	X0	...	Xj
T_0	X0_0	...	Xj_0
:	:	:	:
T_i	X0_i	...	Xj_i

解析結果

2次元・1フレームごとの推定

課題

- リアルタイム推定できない
- ロガーに接続必要
(ワイヤレスでない)



機械学習モデル
(勾配ブースティング)

Time	Pred
T_0	3
:	:
T_N	6

最終予測

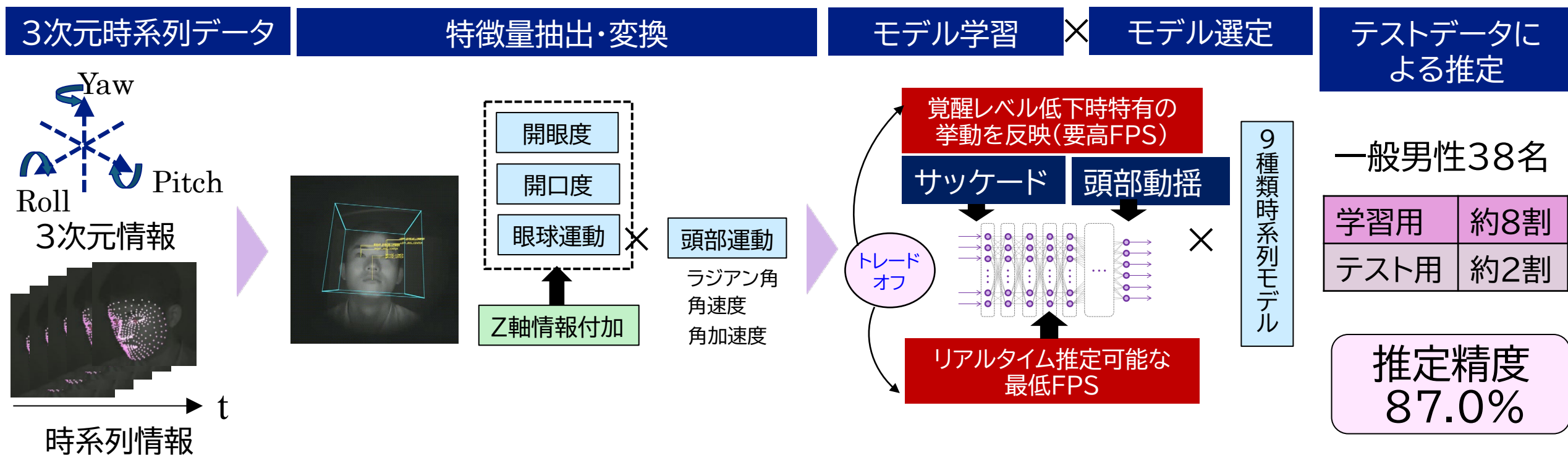
学習用	7名
テスト用	2名

推定精度
70.1%

成果①内容:顔画像データを用いた覚醒レベル推定モデルの開発

Railway Technical Research Institute

・前方カメラ情報だけで特徴量を再現、リアルタイム推定



- ・ アンサンブル学習せずに85%以上の推定精度
- ・ 汎用ノートPCのCPUのみで推定可能

成果②内容:時間帯の違いによる覚醒レベル等の推移

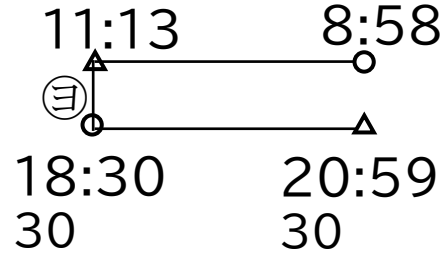
Railway Technical Research Institute

運転シミュレータ
による運転作業

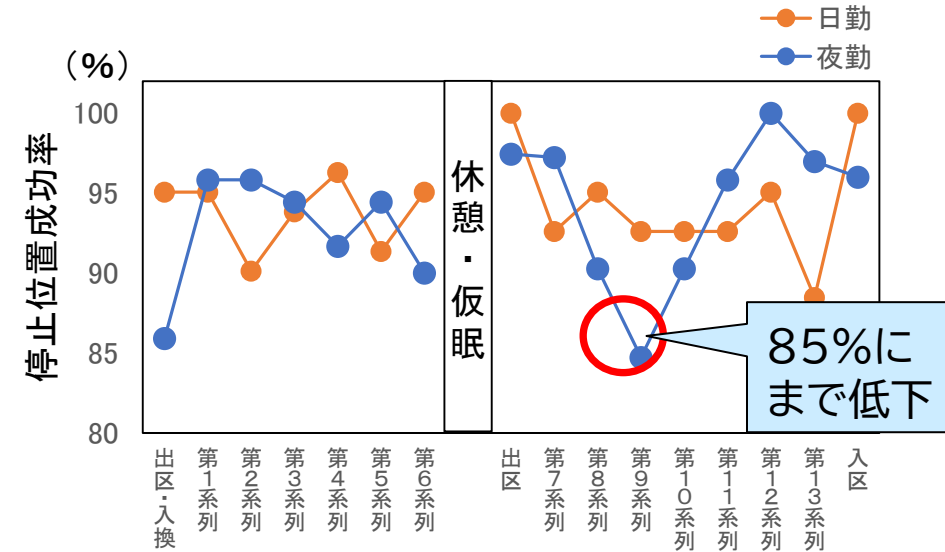
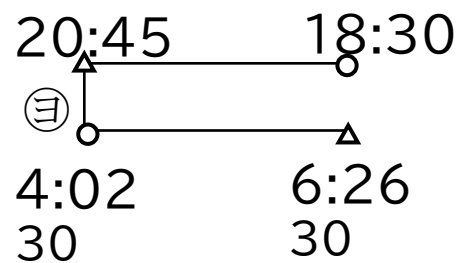


一般男性13名

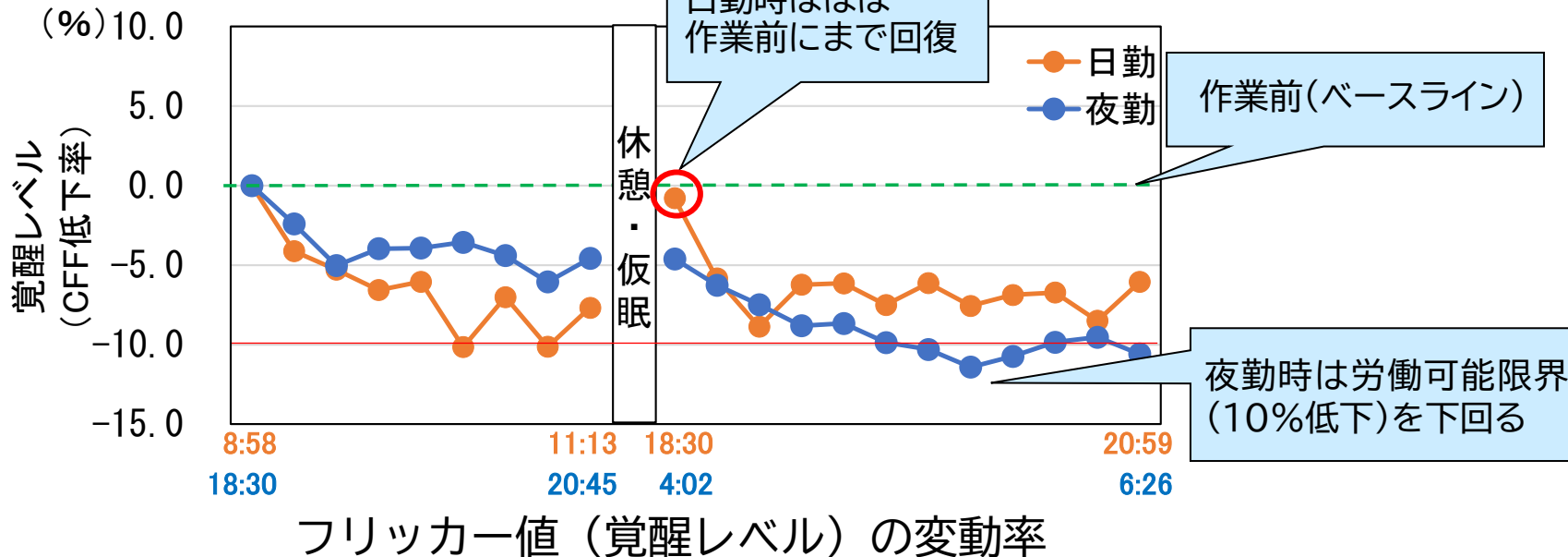
日勤



夜勤



駅停止位置成功率(停止位置目標
±5m以内)



日勤と比較した際の夜勤時の負荷の大きさを把握。
夜勤時作業に重み付けをすることで精度向上の可能性・警報提示のパターンに利用

成果③内容:警報音の馴化(慣れ)対策の提案と効果検証

Railway Technical Research Institute

・学習(条件付け)による馴化対策の効果

条件付け

3 6 12 14 2
15 11 5 9 1
4 10 8 13 7

警報音1, 2が提示された場合のみ, 1から15までをマウスで素早く正確にクリック

学習(条件付け)に用いた課題

実験

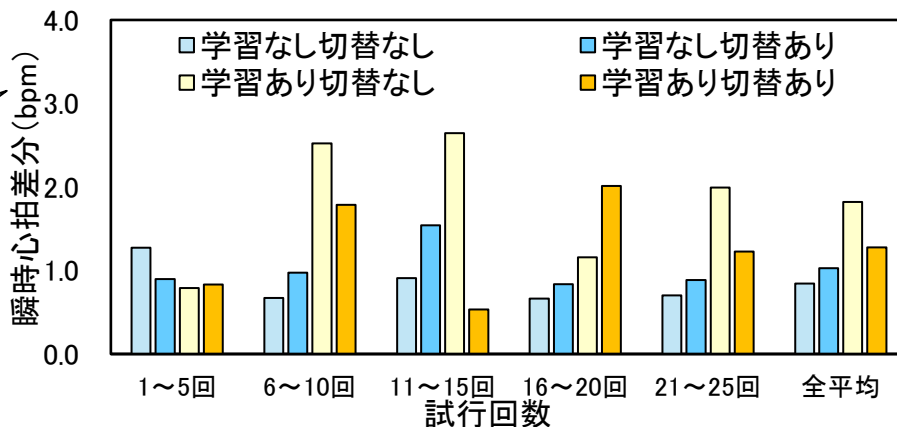
単調課題実施時、2分おきに警報音提示(全25回)

条件1:学習あり・なし

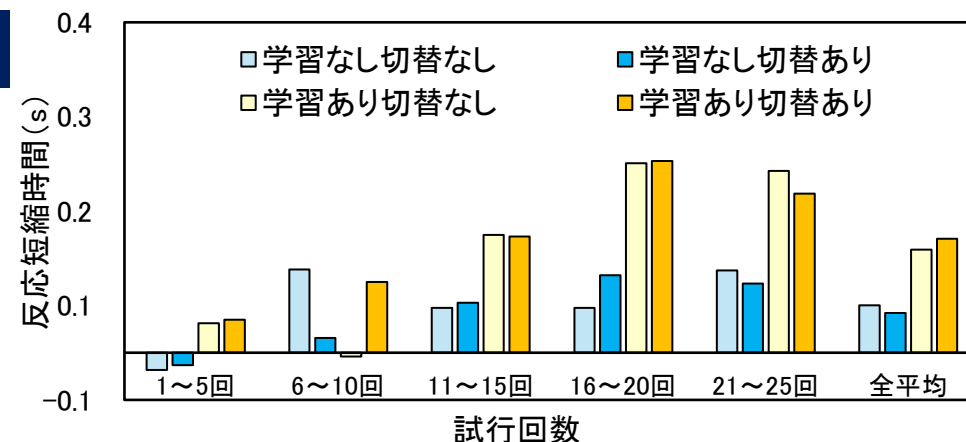
条件2:切替あり・なし(16回目から)

生理量

新規の事象に注意が向くことで心拍数が一時的に減少(定位反応)

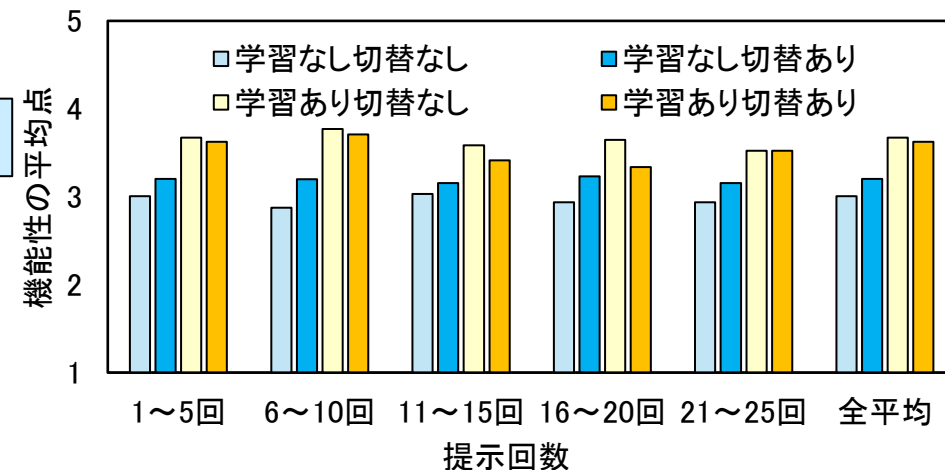


行動量



心理量

40代未満



学習による馴化対策は効果がある。ただし年代によって学習時間を変える必要がある。

成果③内容:乗務員支援システムのアプリケーションの開発

Railway Technical Research Institute

・アプリケーションを開発し推定モデルを組み込み

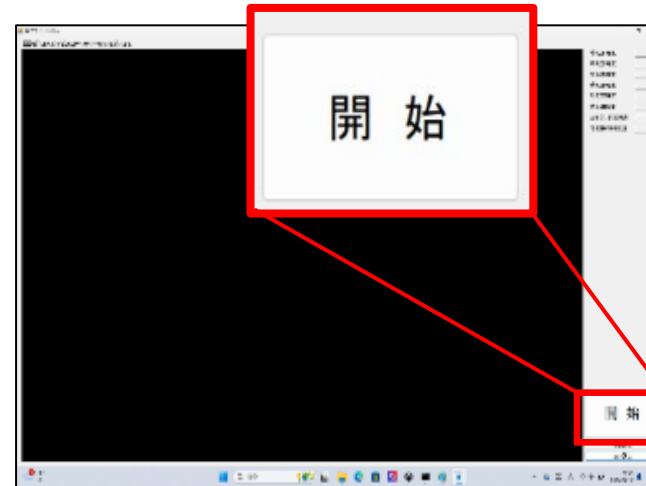
簡単に操作可能なようにグラフィックユーザーインターフェースを搭載



列車番号入力画面

操作は3つのみ

- ①列車番号入力
- ②開始ボタン
- ③終了ボタン



開始ボタン画面

【警報音慣れ対策】

所定回数以上は
音切替・ランダム
提示可能

運転士が1人で操作可能な
アプリケーションを開発

成果④内容:推定モデルの精度検証とシステムの効果評価

・現車試験による精度検証と効果評価



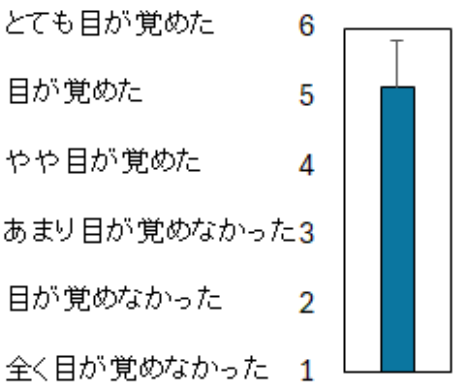
区間:長大トンネルを含む区間

期間:2024年 5月29日～ 7月10日
2024年11月13日～11月27日

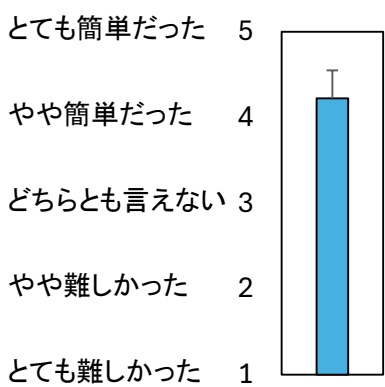
運転士23名分データ

学習用	約8割
テスト用	約2割

推定精度
87.1%



警報鳴動に対する評価



ユーザビリティ評価

- ・ 現車においても**85%以上**の推定精度
- ・ 運転士のコンディション, キャリブレーション, 時間帯, 線区・交番・仕業情報 **一切不要**
- ・ 汎用のカメラ, 赤外線照明, ノートPCのみで構成

- 動画に表れる**覚醒レベル低下時のサッケード・頭部動揺を同定**し、パラメータに反映させることで、覚醒レベル推定精度を自動車業界標準と言われる80%から**5%以上向上**させ、目標値を達成した。【成果①】
- 時間帯の違いによる覚醒レベルの推移を定量的に把握した。【成果②】
- 警報音の馴化対策を提案し、心理量・生理量・行動量によって、馴化が認められ始める30分以降から1時間後の実験終了まで**警報による覚醒効果**があることを確認した。【成果③】
- システムのアプリケーションと覚醒レベル推定のAIモデルを組み込んだライブラリを組み合わせ、乗務員支援システムを開発した。【成果③】
- 現車試験によって、**警報音の効果**は6点満点中**5.1点**、システムの**ユーザビリティ**が5点満点中**4.2点**となることを確認した。【成果④】