

講演10. 自動運転から手動運転への引継ぎ要請に用いる 警告音の断続周期が運転引継ぎ行動に与える影響

自動車安全研究部
中央大学

※阿部 晃大、加藤 洋子、関根 道昭
戸井 武司

背景

- SAEレベル3の自動運転システムを搭載した車両が登場
 - ◆ 運行設計領域（ODD: Operational Design Domain）内において、運転に必要な「**認知・判断・操作**」を自動運転システムが担う
 - ドライバは運転タスクから解放される
 - ◆ ODDを逸脱する場合、システムはドライバに対して**運転引継ぎ要請（TD: Transition Demand）**を提示
 - 引継ぎ要請は視覚や聴覚、触覚などへの刺激により伝達
 - これを受けたドライバは直ちに適切な運転操作を行う必要がある
- 自動運転の社会実装に向け、道路交通法も改正
 - ◆ 一定条件下にて、自動運転中の携帯電話での通話やカーナビの画面注視に対して罰則を適用しない（第71条の4の2）

引継ぎ要請に関する既往研究

- 運転引継ぎ要請の警告音として断続音を使用
断続音の断続周期が運転引継ぎ行動に与える影響について、
ドライビングシミュレータを用いて調査¹⁾

断続音の断続周期： 毎秒2回 **2cps**、 毎秒6回 **6cps**
(cps: cycle per second)

- 断続周期の違いにより、音の印象や引継ぎ行動に差

	警告音に対する印象評価		引継ぎ後の 車両のふらつき
	緊急感	不快感	
2cps	低い	低い	安定せず
6cps	高い	高い	安定



1) 阿部晃大ほか：二次タスクと警報音が運転引継ぎ行動に与える影響、自動車技術会秋季学術講演会予稿集、No.100 (2022)

引継ぎ要請に適した警告音とは？

- 6cpsの警告音はドライバの抱く緊急感が高いことから、通常運転時における警告音としては適していると考えられる
- 自動運転中のドライバの意識は運転以外に向いている可能性
 - このような場面で緊急性が強い警告音をいきなり提示すると**ドライバを過度に刺激**してしまい、**安全性が損なわれる可能性**
 - 最初はマイルドな印象の警告音を用いて注意喚起を行い、その後、緊急感の高い音へと切り替えることにより速やかな引継ぎ動作や運転操作の安定性向上が期待される

2cpsから6cpsへと切り替わる音源

⇒ 鳴り始めの不快感を低減させるとともに、
運転引継ぎ後の車両挙動が安定すると予想

本研究の目的

- 運転引継ぎ要請について、協定規則第157号には以下の記載

5.4.3.2 引継ぎフェーズの間、引継ぎ要求は、当該要求の開始から遅くとも4秒後に強化（escalate）されなければならない。

- 運転引継ぎ要請に対する反応が遅いドライバへの対策
- 強化手法に関する具体的な記述はなく、
引継ぎ要請に用いる警告の強化手法が不明確

目的

警告音の断続周期が途中で切り替わる場合の

音の印象の変化 や **運転引継ぎ行動への影響** を調査し、

自動運転環境に適した警告音の特性を明らかにする

本研究で扱う警告音

● 3種類の断続パターンを比較

➤ 2cps

- ・ 毎秒2回の断続音

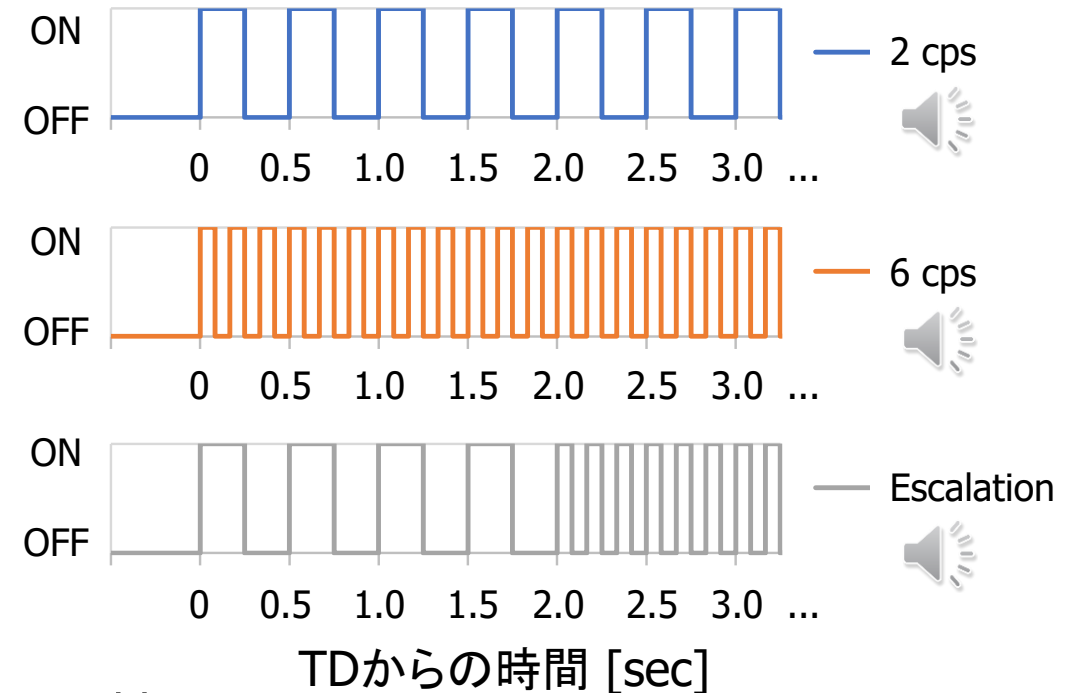
➤ 6cps

- ・ 毎秒6回の断続音

➤ エスカレーション

- ・ 毎秒2回で鳴り始め、2秒後に毎秒6回に切り替え
(既報にて平均引継ぎ時間が2.5秒程度であったため)

- ◆ 断続音の周波数は1.6kHz、音圧レベルは60dB(A) に設定
(ドライバ耳元付近)



実験装置と参加者

ドライビングシミュレータ

- ◆ 視野角：水平方向180度以上
鉛直方向20度以上
- ◆ 車載カメラで実験中の様子を記録（30fps）
- ◆ ログ機能で運転操作を記録（60Hz）

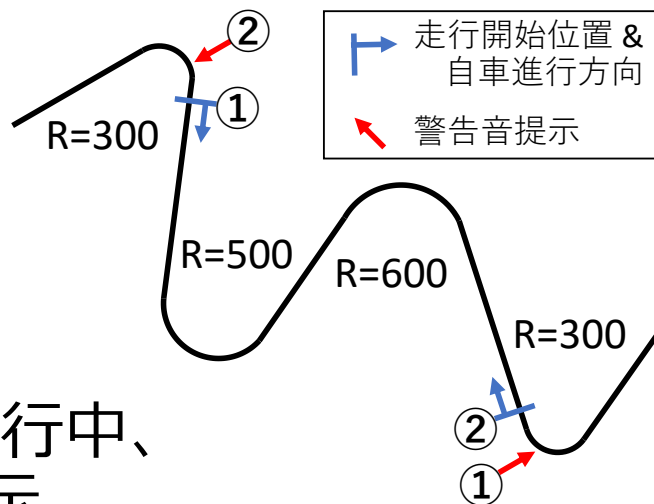


実験参加者

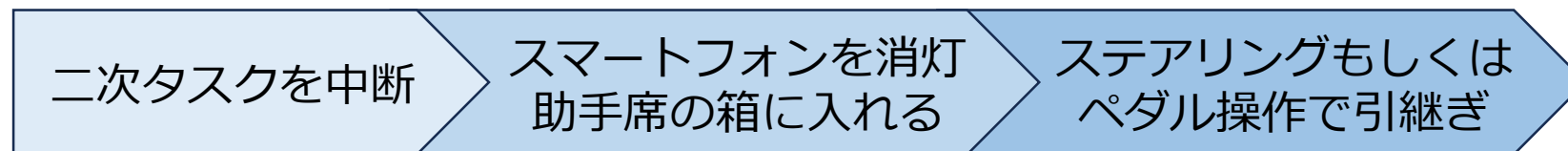
- ◆ 20歳代から50歳代の16名
（男女8名ずつ、平均年齢38.8歳）
 - 運転免許を保有し、日常的に運転を行う方を研究所外部から募集
 - 交通安全環境研究所「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に準拠

実験手続き

- ◆ 片側3車線の高速道路を時速80kmで自動運転
ドライバは指示された二次タスク（後述）を実施



- ◆ 左カーブ区間（R=300）を走行中、
引継ぎ要請として警告音を提示



- ◆ 警告音の提示開始から30秒後、実験終了

実験説明・同意確認

練習走行

実験走行（4走行）

休憩

実験走行（4走行）

警告音の印象評価

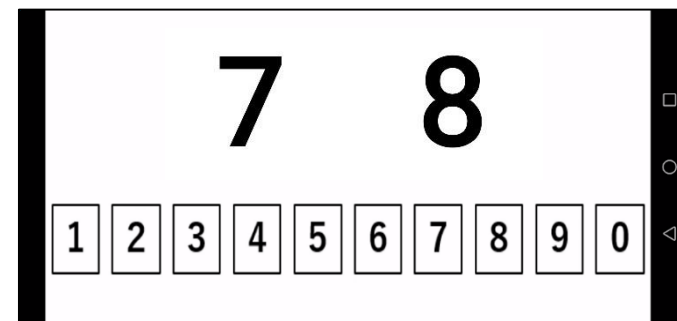
自動運転中に行う二次タスク

動画視聴課題

- ◆ 科学・教養番組の録画5本の中から好きなものを選択し、自動運転中に視聴（走行中の車内でも十分聞き取れる音量）
- ◆ 動画への集中を促すため、走行後に動画内容に関する質問を実施

計算課題

- ◆ 「表示を見て、考えて、入力する」ことから、メールやテキスト入力を想定
- ◆ スマートフォンの画面上部に一桁の数字が2個表示され、その和の下一桁を選択して回答
- ◆ 数字は出題から0.5秒間表示、回答もしくは3秒経過で次の問題へ



実験の様子



300で警告音提示

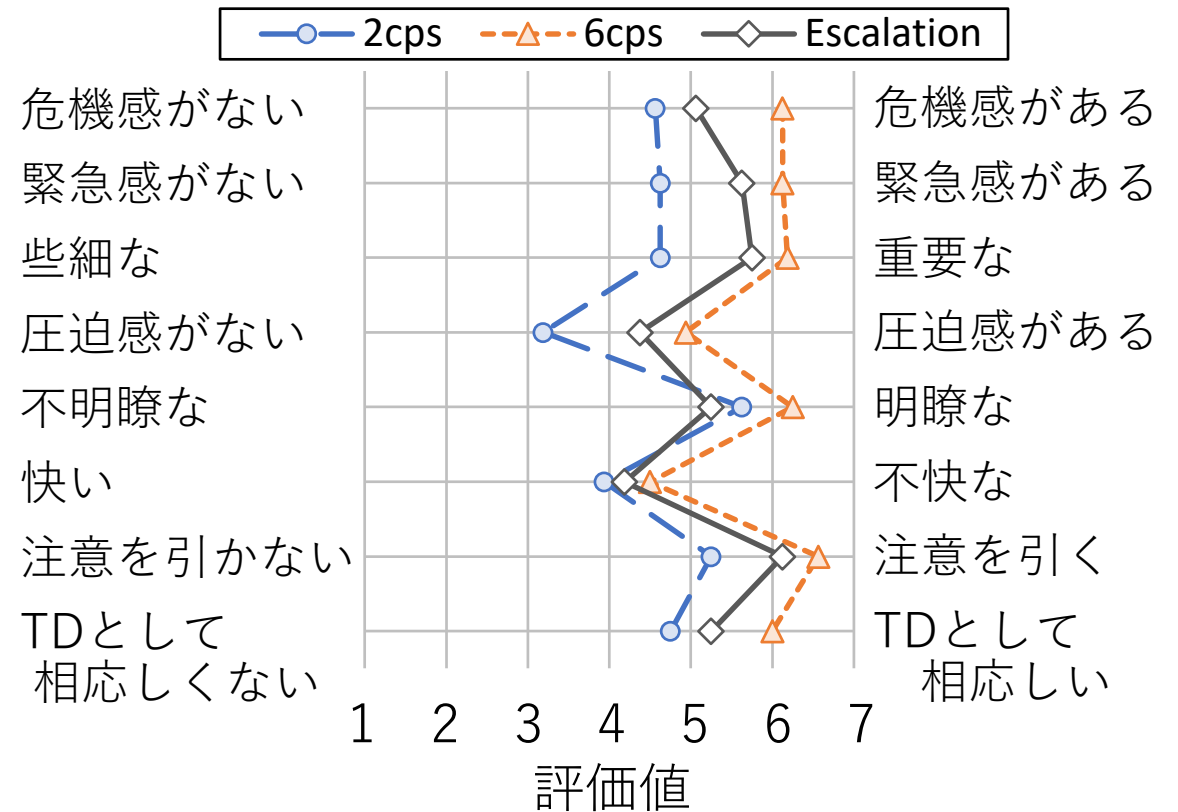
実験結果 警告音の印象

全実験終了後、運転席に座り、走行音に重畳する警告音を評価

◆ **6cps :**
「危機感がある」
「緊急感がある」
「注意を引く」などで評価値 高

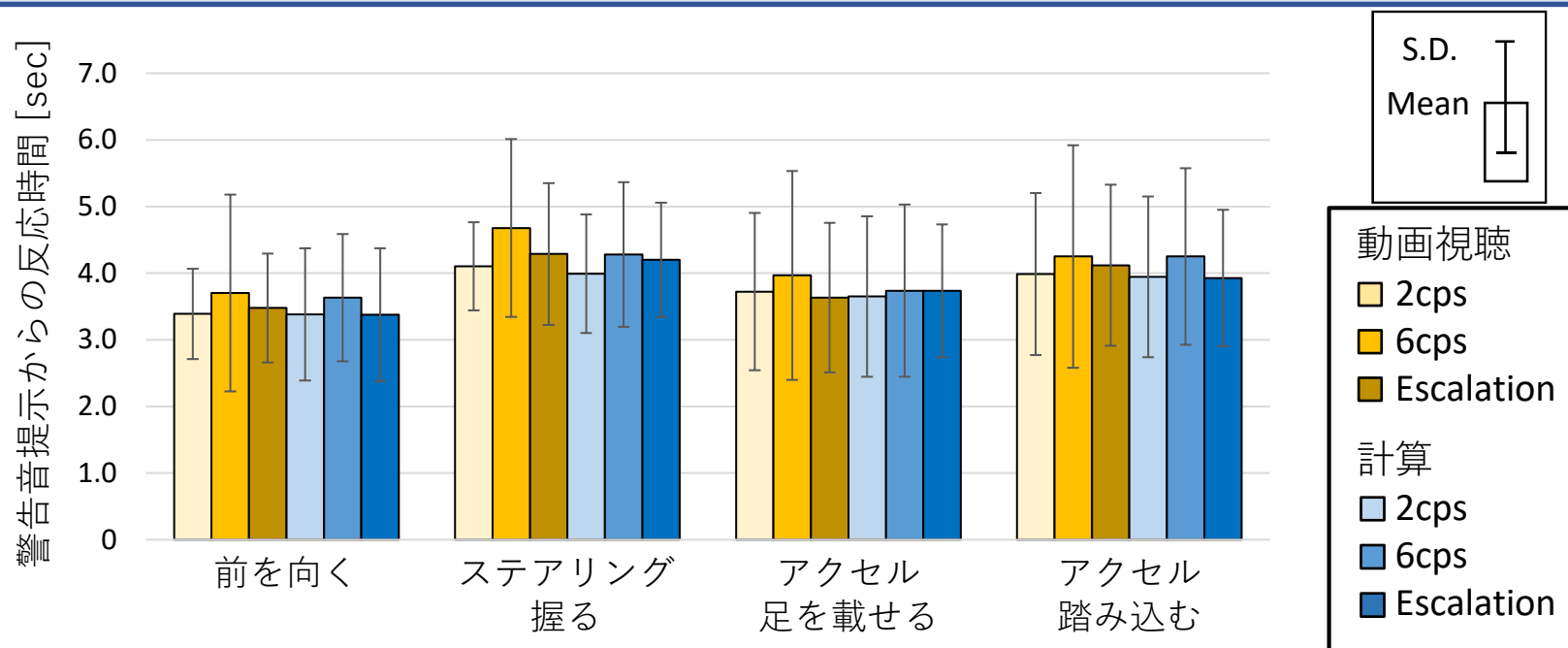
◆ **2cps :**
「不快な」の評価値 低

◆ **エスカレーション :**
8項目中7項目で
2cpsと6cpsの中間の評価値



実験結果 警告音に対する反応時間

警告音提示から運転引継ぎ時の各動作が行われるまでの時間について、実験映像から計測



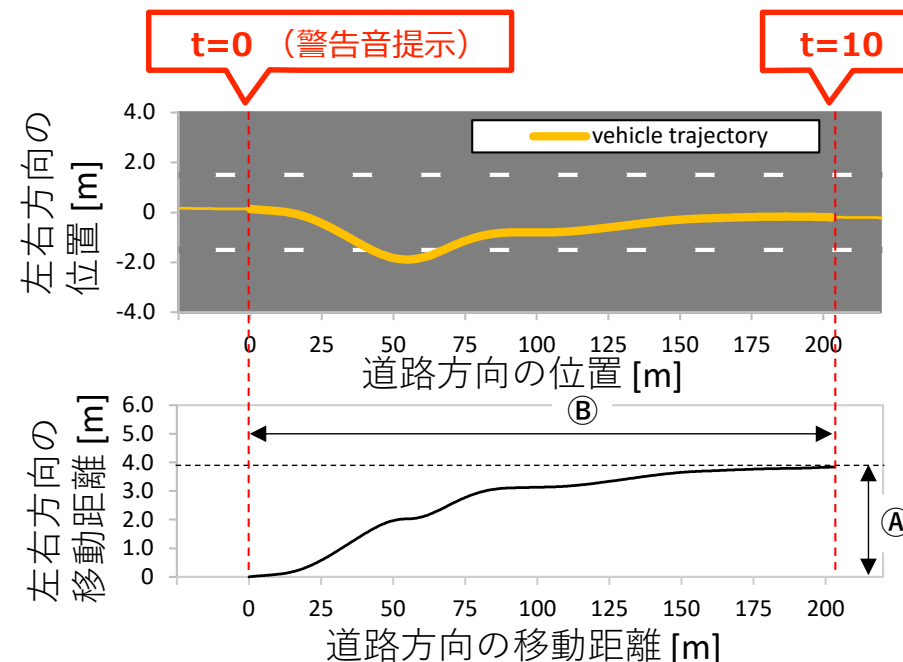
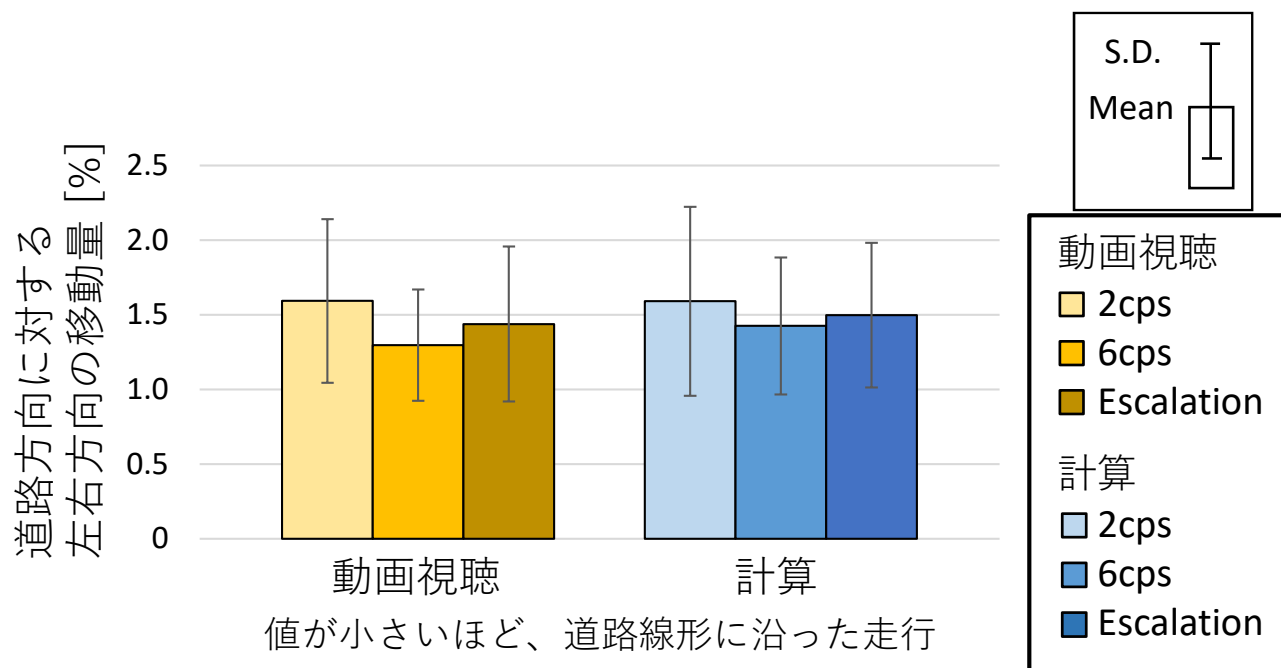
◆ 全参加者が全条件にて10秒以内に引継ぎ完了

➤ エスカレーション条件において警告音変化前に引継ぎを完了した被験者はおらず

どちらの二次タスクにおいてもエスカレーションによる差はみられず

実験結果 引継ぎ後の運転操作

運転引継ぎ後10秒間の車両の移動量から、道路に対するふらつきを評価



◆ 平均値を見ると、動画視聴、計算ともに **6cps < エスカレーション < 2cps**

エスカレーションは6cpsに近い運転操作

まとめ

- ◆ 自動運転から手動運転への引継ぎ要請の警告音として使用する断続音について、断続周期が毎秒2回から毎秒6回に変化する音（**エスカレーション**）の効果を検討した。
- ◆ ドライバが断続音に対して抱く印象を主観評価した結果、**エスカレーション条件**の「緊急感」は毎秒2回（**2cps**）より高くなった。一方、「不快感」に変化はみられなかった。
- ◆ エスカレーション条件の引継ぎ後の運転操作は6cpsに近い安定性であった。

エスカレーションは鳴り始めの不快感を抑えつつ、運転引継ぎ後の操作を安定させる効果が期待される

ご清聴ありがとうございました