

The influence of in-vehicle speech warning timing on drivers' collision avoidance performance at signalized intersections

Yan, X., Zhang, Y. & Ma, L. (2015)

Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 51, 231-242

2024/07/16 輪講

ブン

Introduction

- 交差点の危険性
 - 交差点は多くの衝突ポイントを含み、大量の交通標識があり、ドライバーの認知負荷が増加する
 - 衝突車両が現れた場合に、事故の可能性が高い
- 交差点で発生する事故が多い (PIARC, 2008)
 - ノルウェー: 全事故の40%以上 (Elvik & Vaa, 2011)
 - アメリカ: 全事故の27%以上 (FHWA, 2011)
 - 事故の主な原因の一つは**赤信号無視 (Red Light Running; RLR)**
 - アメリカでは毎年26万以上の事故に寄与し、そのうち約750件が致命的 (Retting et al., 1999)

Introduction

- Collision Warning System

- その事故を防ぐために、衝突警告システム (Collision Warning System; CWS) が導入された
- CWSはセンサーやレーダーを用い、交差点に接近する赤信号無視車両を識別し、ドライバーにアラームを発する

- CWSの効果

- ドライバーの衝突回避能力に影響を与え、回避の成功率を高める (Atev et al., 2004; King & Refai, 2011)
- ドライバーの車間距離推定をより正確にし、より長く安全な車間距離を維持できる (Ben-Yaacov et al., 2002)
- 衝突を80.7%減少させる (Lee et al., 2002)

Introduction

- CWSのアラーム
 - 聴覚アラームがよく使用されている
 - 空間的互換性のある聴覚アラームは、ドライバーの反応能力を向上させる (Liu & Jhuang, 2012)
 - 単純なビープ音より、**音声アラーム**はドライバーの知覚-反応時間の大幅な短縮につながる (Chang et al., 2008)
- アラームをいつ発することについても検討されている

Introduction

- CWSの**アラームタイミング**

- アラームタイミングは、CWSの有効性に深刻な影響を与える (Janssen & Nilsson, 1993; Ho & Spence, 2009; Tang & Yip, 2010)
- 早期アラームは遅いアラームより効果的である (Lee et al, 2002)
 - ドライバーがすでにブレーキをかける決定をした後にアラームが出されると、システムへの信頼性が低下 (Abe & Richardson, 2004)
- 早期アラームはFalse Alarmのリスクが高く、システムの利用率の減少につながる (Seller et al., 1998)
- 適切なアラームタイミングにより、ドライバーに対して正確で信頼性の高い事故予測情報を提供できる

Introduction

- 既存のアラームタイミングに関する研究
 - 先行研究では、主に定性的な影響が調査されている
 - 早期アラーム、遅延アラームを比較 (Werneke & Vollrath, 2013; Abe & Richardson, 2005; Abe & Richardson, 2006)
 - 早期アラーム、中期アラーム、遅延アラームを比較 (Abe & Richardson, 2004)
- 既存研究の限界点
 - 連続的なアラームタイミングについての分析が欠けている
 - より詳細なアラームタイミングの分類により、CWSのさらなる設計に役立つ最適なタイミング範囲を見つけることが可能

Introduction

- アラームの**方向情報**

- 衝突の可能性がある方向をドライバーに知らせる
- ドライバーの注意力の視野を狭めることにより、認知負荷を軽減する
- 方向情報は、遅いアラームタイミングの場合では、ドライバーの情報処理を遅らせ、不十分な減速を引き起こす (Yan et al., 2014)

本研究の目的

アラームタイミングと方向情報が衝突回避能力に与える影響を調査

Experiment

- 参加者
 - 45名(男性23名、女性22名)
 - 平均年齢: 35歳 (31歳 ~ 39歳)
 - 免許取得から3年以上経過、2万km以上運転経験が必須条件

Experiment

- 実験装置
 - さまざまな道路交通環境や運転シーンをシミュレートできるDS
 - 車両コックピットは実車と同一



(a) Appearance



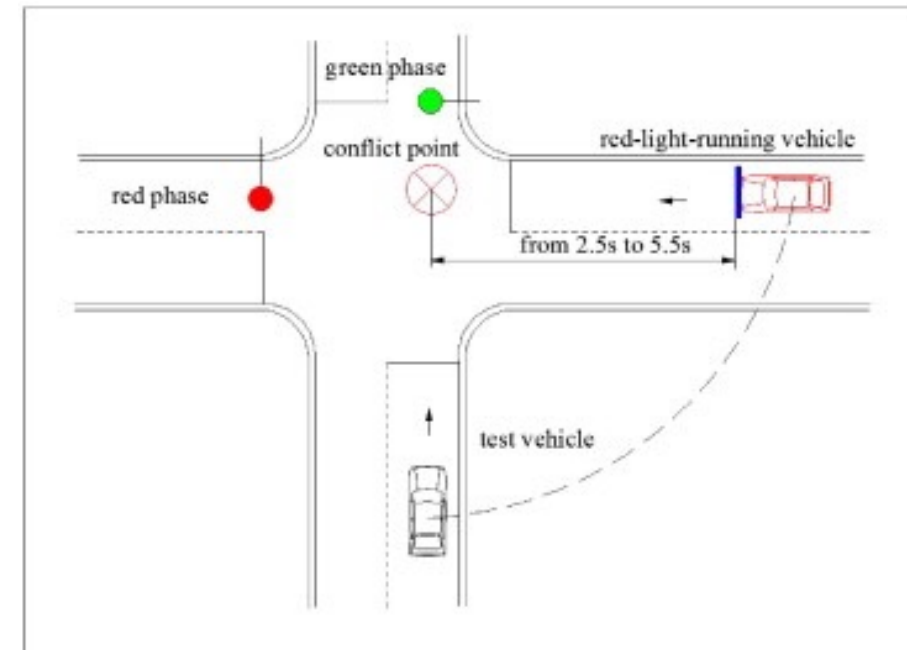
(b) A screenshot from a test scenario

Experiment

- アラームタイミング条件
 - 最遅タイミング: 2.5s
 - ドライバーがアラームに反応し、ブレーキ操作を行うのに最低限必要な時間 (Lerner, 1993)
 - 最早タイミング: 5.5s
 - 0.5s間隔で設定、 **全部で7条件**
- 方向情報条件
 - なし: 「赤信号無視車両に注意してください」と音声で提示
 - あり: 「**右側の**赤信号無視車両に注意してください」と音声で提示
 - **全部で2条件**

Experiment

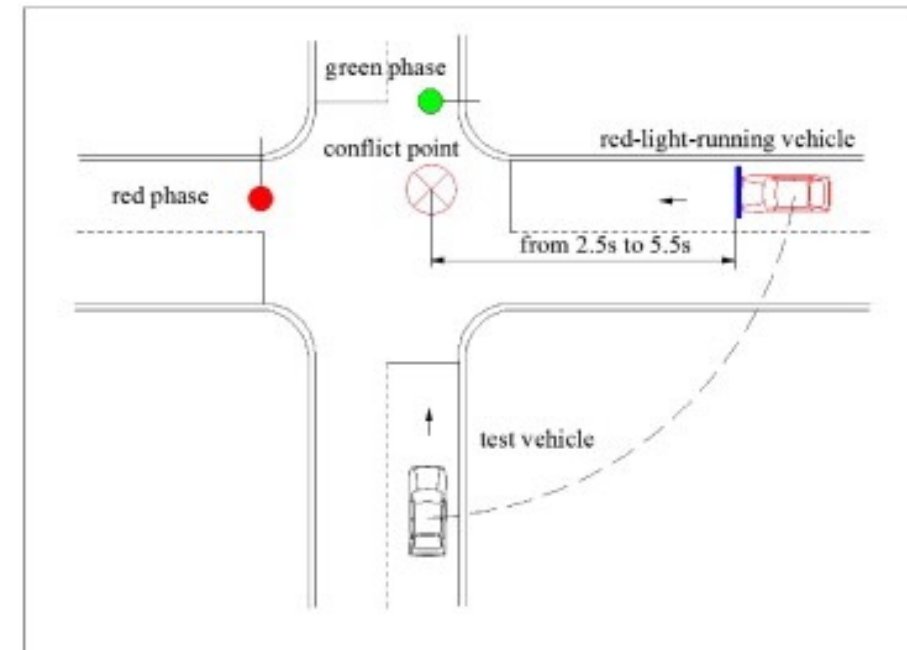
- 実験シナリオ
 - 本研究は、赤信号無視による直角衝突に焦点を当てる
 - 参加者が青信号で交差点を通過しようとする一方で、赤信号無視車両が交差点に進入



(a) Diagram of the intersection

Experiment

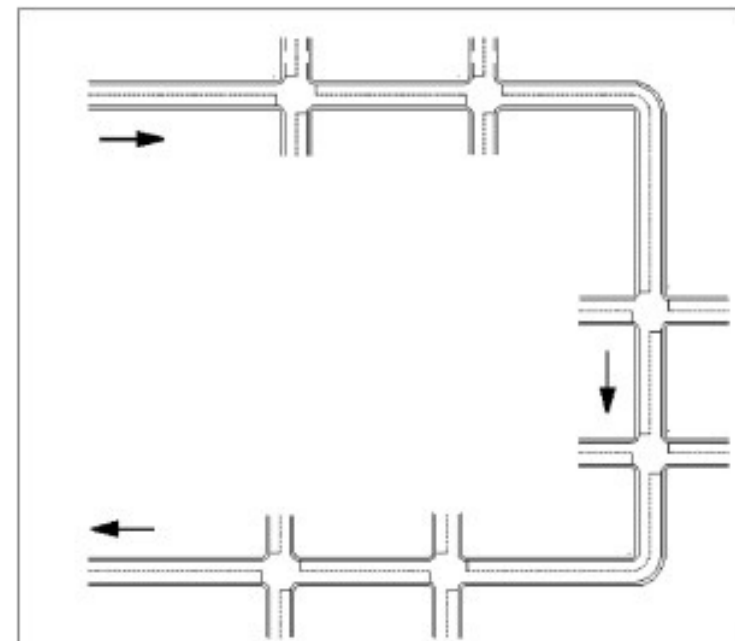
- 実験シナリオ
 - TTC (Time to Collision) センサーを使用し、参加者が交差点の衝突ポイントに接近する時間を監視
 - TTCが7sの時点で、赤信号無視車両が72km/hの速度で交差点に進入
 - 信号無視車両のTTCがアラームタイミング条件に達すると、音声アラームが提示される



(a) Diagram of the intersection

Experiment

- 実験シナリオ
 - 実験ルートは、6つの交差点で構成される
 - 6つのうち3つはランダムに選ばれ、赤信号無視車両が現れ、残り3つはない



(b) Test route

Experiment

- 実験シナリオ
 - アラームタイミング (7条件): 2.5s, 3s, 3.5s, 4s, 4.5s, 5s, 5.5s
 - 方向情報 (2条件): 有・無
 - ベースライン: アラームなし
- 合計15シナリオ

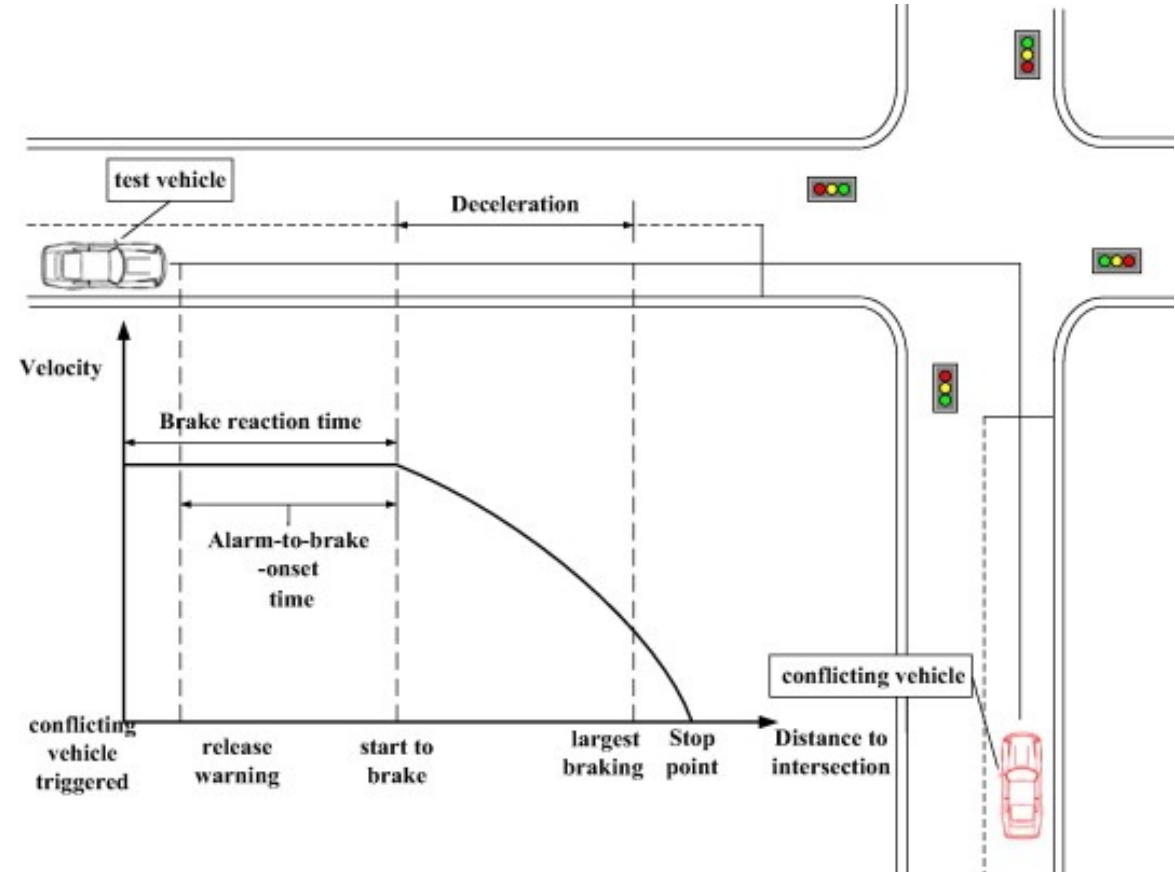
Table 1

Descriptions of warning conditions in this experiment.

Treatment ID	Warning	Directional information	Warning timing (s)
1	Yes	Directional	2.5
2			3
3			3.5
4			4
5			4.5
6			5
7			5.5
8	No	Non-directional	2.5
9			3
10			3.5
11			4
12			4.5
13			5
14			5.5
15		NA	NA

Experiment

- 従属変数
 - ブレーキ反応時間 (Brake Reaction Time)
 - 参加者が指定された位置 ($TTC = 7s$) に到着してから、ブレーキを踏み始めたまでの時間
 - アラームからブレーキまでの時間 (Alarm-to-brake-onset time)
 - アラームが提示されるタイミングからブレーキを踏み始めたまでの時間
 - 減速度 (Deceleration)
 - ブレーキを踏み始めた時点から最大減速時点までの速度変化率



Results

- 各従属変数の結果

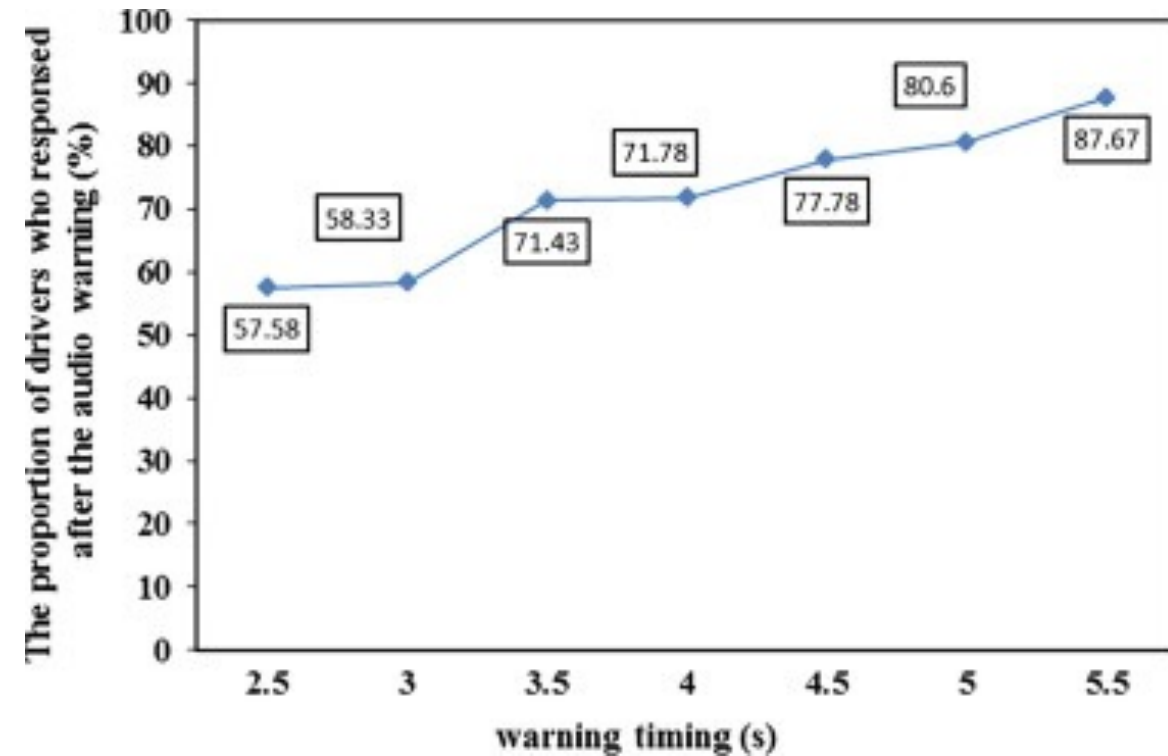
Table 2

Mean driving performance within different categories of factors.

Conditions		Brake reaction time (s)	Alarm-to-brake-onset time (s)	Deceleration (m/s/s)	Chances for the coccurrence of crashes (%)
Gender	Male	3.29 ± 1.46	0.99 ± 0.41	3.29 ± 1.94	4.48
	Female	3.29 ± 1.62	0.98 ± 0.39	3.48 ± 1.94	8.18
Directional information	Non-directional	3.37 ± 1.54	1.05 ± 0.42	3.59 ± 1.82	5.43
	Directional	3.11 ± 1.42	0.92 ± 0.38	3.33 ± 1.74	2.54
Warning timing (s)	None	4.19 ± 2.10	NA	2.16 ± 2.09	40
	2.5	4.19 ± 1.72	0.94 ± 0.40	3.41 ± 2.10	13.04
	3.0	3.68 ± 1.53	1.06 ± 0.44	3.61 ± 1.92	1.09
	3.5	4.16 ± 1.43	1.14 ± 0.45	4.01 ± 1.99	9.89
	4.0	3.23 ± 1.18	0.91 ± 0.38	3.69 ± 1.75	0
	4.5	2.85 ± 1.17	0.87 ± 0.30	3.27 ± 1.53	1.09
	5.0	2.34 ± 0.97	1.12 ± 0.44	3.24 ± 1.59	2.2
	5.5	2.16 ± 0.72	0.90 ± 0.35	3.00 ± 1.35	0

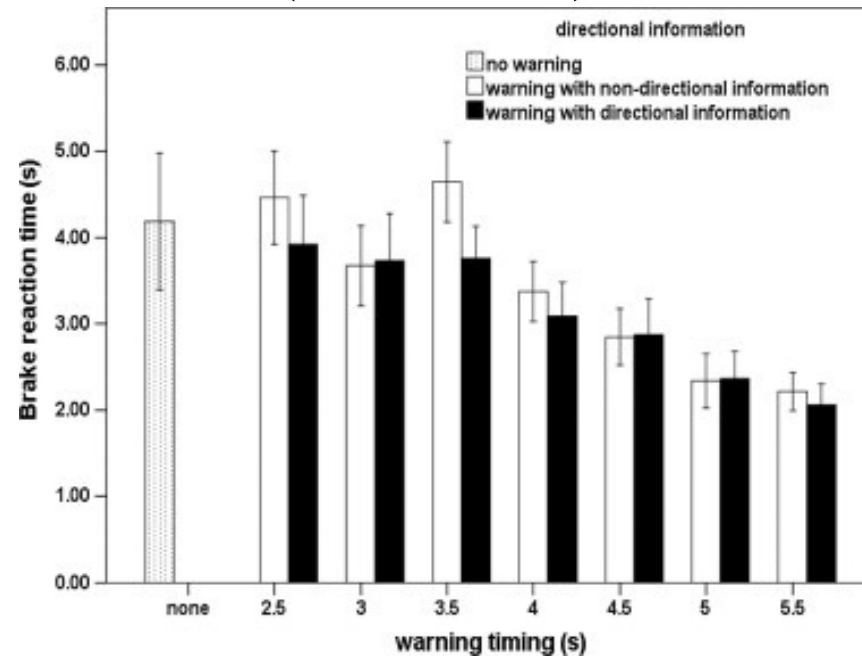
Results

- アラーム後に行動する割合
 - アラームタイミングが早いほど、アラーム後に行動する可能性がより高い
- アラームタイミングが遅い場合、衝突回避への効果が限られる



Results

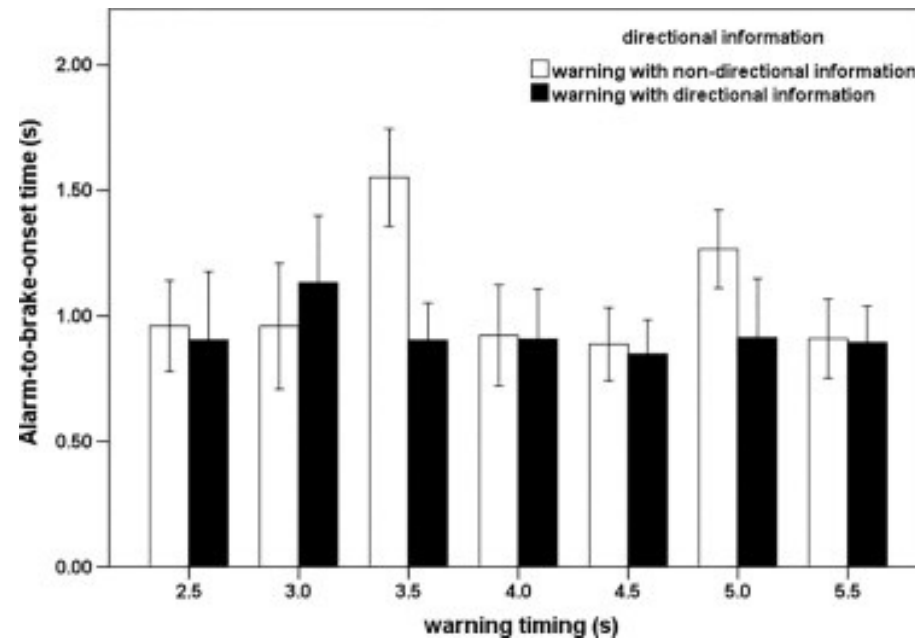
- ブレーキ反応時間
 - 混合効果モデルの結果、アラームタイミング ($F = 49.821, p < .001$) と方向情報 ($F = 7.498, p = .007$) は有意な影響を示した
 - アラームタイミングが早い (4.5s ~ 5.0s) ほど、ブレーキ反応時間が短くなる
 - アラームタイミングが遅い (2.5s ~ 3.0s) 場合、ブレーキ反応時間がアラームなしとは同程度



mean differences between	t-value
none & 2.5s+N	-0.175
none & 2.5s+D	0.378
none & 3.0s+N	1.262
none & 3.0s+D	1.877
none & 3.5s+N	-2.089*
none & 3.5s+D	0.396
none & 4.0s+N	2.453*
none & 4.0s+D	1.174
none & 4.5s+N	2.068*
none & 4.5s+D	3.489*
none & 5.0s+N	3.854*
none & 5.0s+D	4.172*
none & 5.5s+N	3.567*
none & 5.5s+D	5.443*

Results

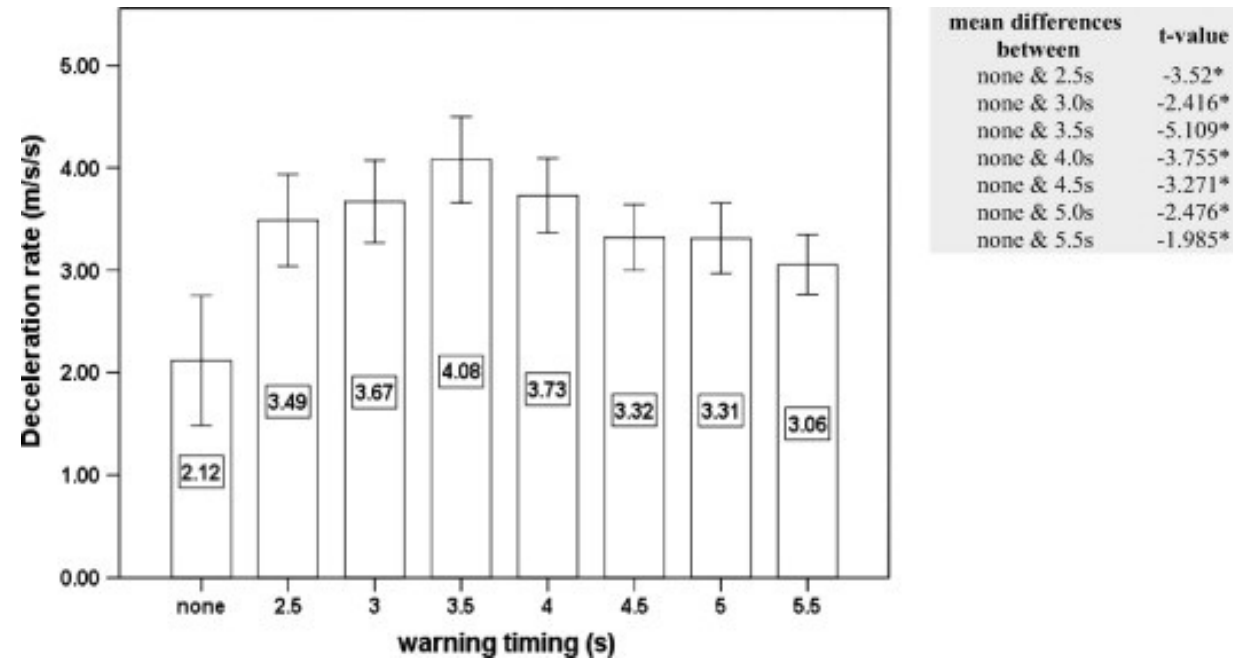
- アラームからブレーキまでの時間
 - アラーム前にブレーキ操作を行なったシナリオを除外
 - 混合効果モデルの結果、アラームタイミング ($F = 3.559, p = .004$) と方向情報 ($F = 4.449, p = .036$) は有意な影響を示した
 - アラームタイミングの明確な影響パターンが見られなかった



Results

- 減速度

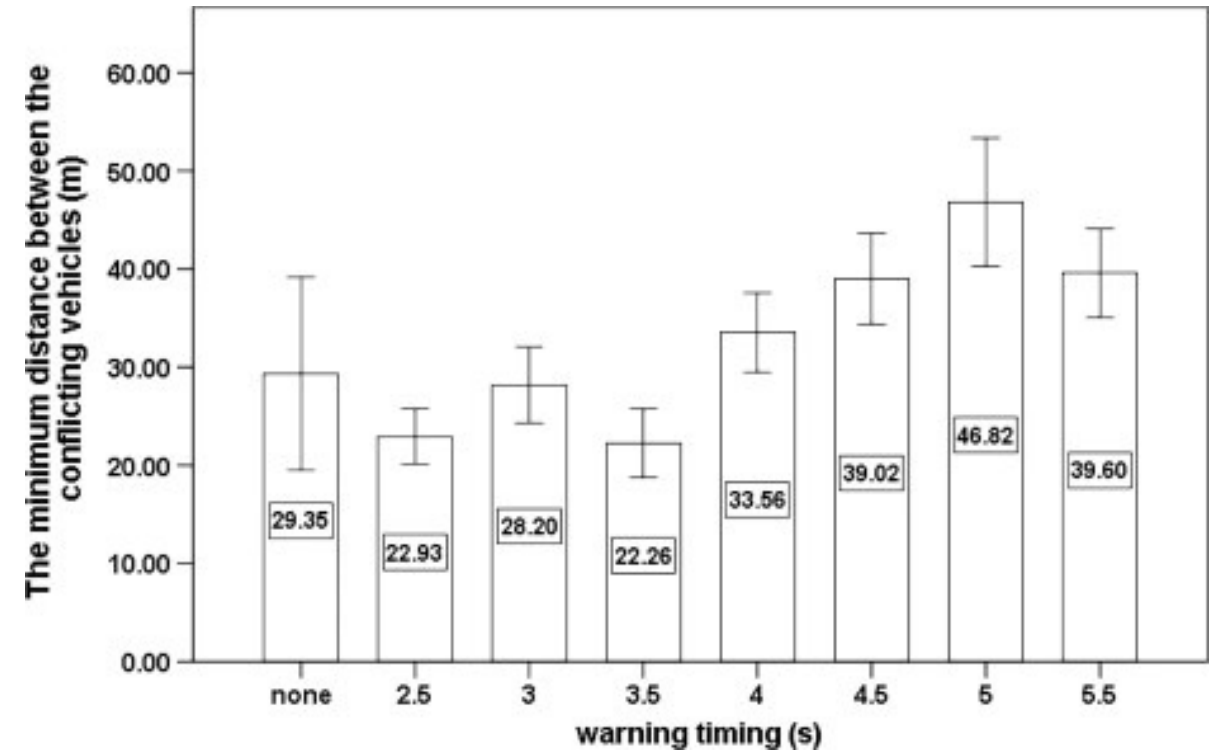
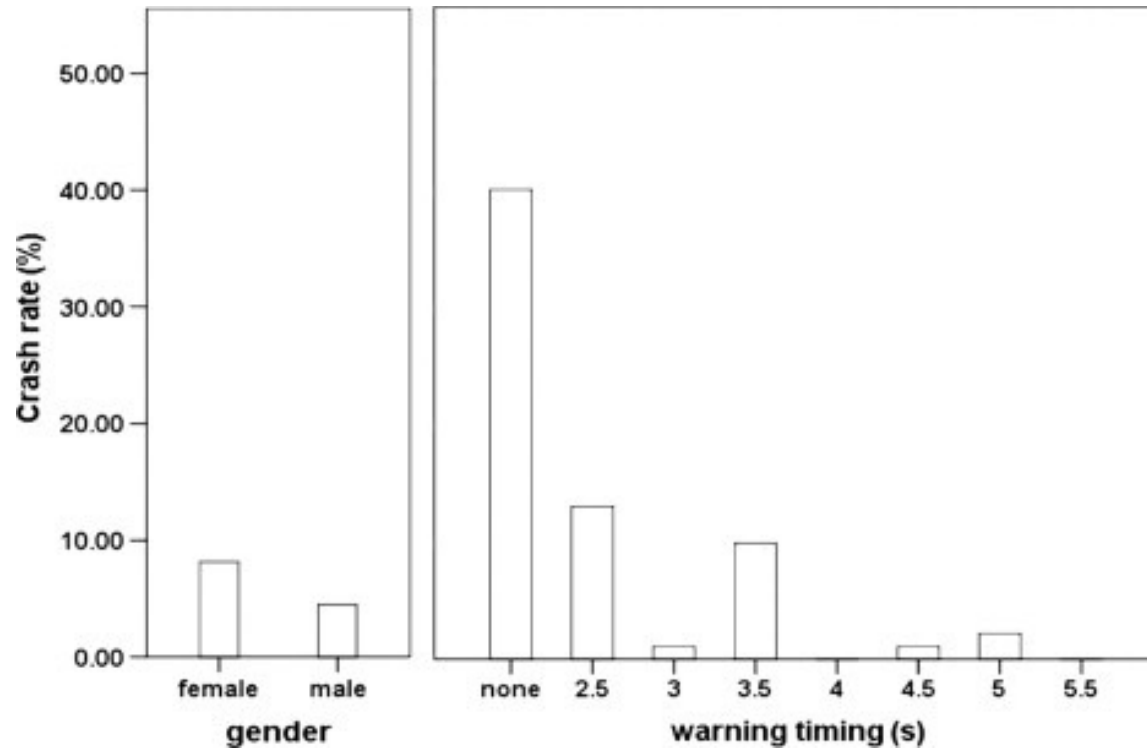
- 混合効果モデルの結果、アラームタイミング ($F=0.6813, p < .001$) は有意な影響を示した
- アラームタイミングが早いほど、減速度が低い
- アラームありの方がより減速度が高い



Results

- CWSの有効性

- アラームありの方が衝突率がより低い
- アラームタイミングが早いほど、車両間の最小距離が長い



Discussion

- ブレーキ反応時間
 - 早いタイミングでアラームが発されると、ブレーキ反応時間短くなることが確認された
 - 遅いアラームタイミング (2.5s, 3.0s) は、アラームなしと同様の反応パフォーマンスを示し、ドライバーの判断を妨害する可能性がある
 - 方向情報付きのアラームは、多くの場合でブレーキ反応時間を大幅に短縮させた
 - ドライバーが方向情報を用い、赤信号無視車両を特定する時間を短縮させ、反応が早くなる

Discussion

- 減速度

- アラームなしの場合では、多くのドライバーが潜在的な衝突に気付かず、ブレーキ操作を行わなかったり、衝突が発生する直前に気付いて行動を諦めたりした
- 早いタイミングのアラームは、ドライバーに十分な時間を提供し、より快適な減速を可能にするため、減速度が低くなった
- アラームタイミングが遅くなると、ドライバーは衝突を回避するために強いブレーキをかける必要があり、減速度が高くなった

Discussion

- CWSの有効性
 - CWSを使用することにより、衝突率が明らかに減少された
- アラームタイミングの最適化
 - アラームはできるだけ早く発するべきが、早すぎるアラームはFAと認識される可能性があり、システム使用率を低下させる
 - 本研究によれば、4.0sまたは4.5sが適切だと考えられる