

高速道路への完全自動運転導入 によるリスク低減効果の分析

リスク工学専攻グループ演習10班

○田村 聡 宮本智明 鄭 起宅

(アドバイザー教員 伊藤 誠)

発表の流れ

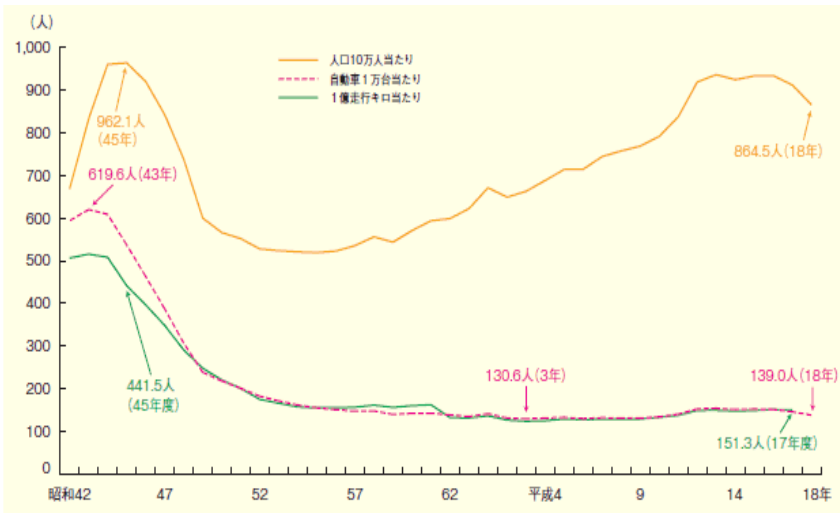
- はじめに
 - 研究背景
 - 自動運転の定義
 - 研究目的
- 交通流シミュレーションを用いた分析
 - 分析手法
 - 評価指標
 - 分析結果および考察
- ドライブシミュレータを用いた分析
 - 分析手法
 - 評価方法
 - 分析結果および考察
- まとめ

研究背景

交通システムの現状

交通事故の死傷者数が
一定の割合で推移

大都市や幹線高速
道路で渋滞が多発



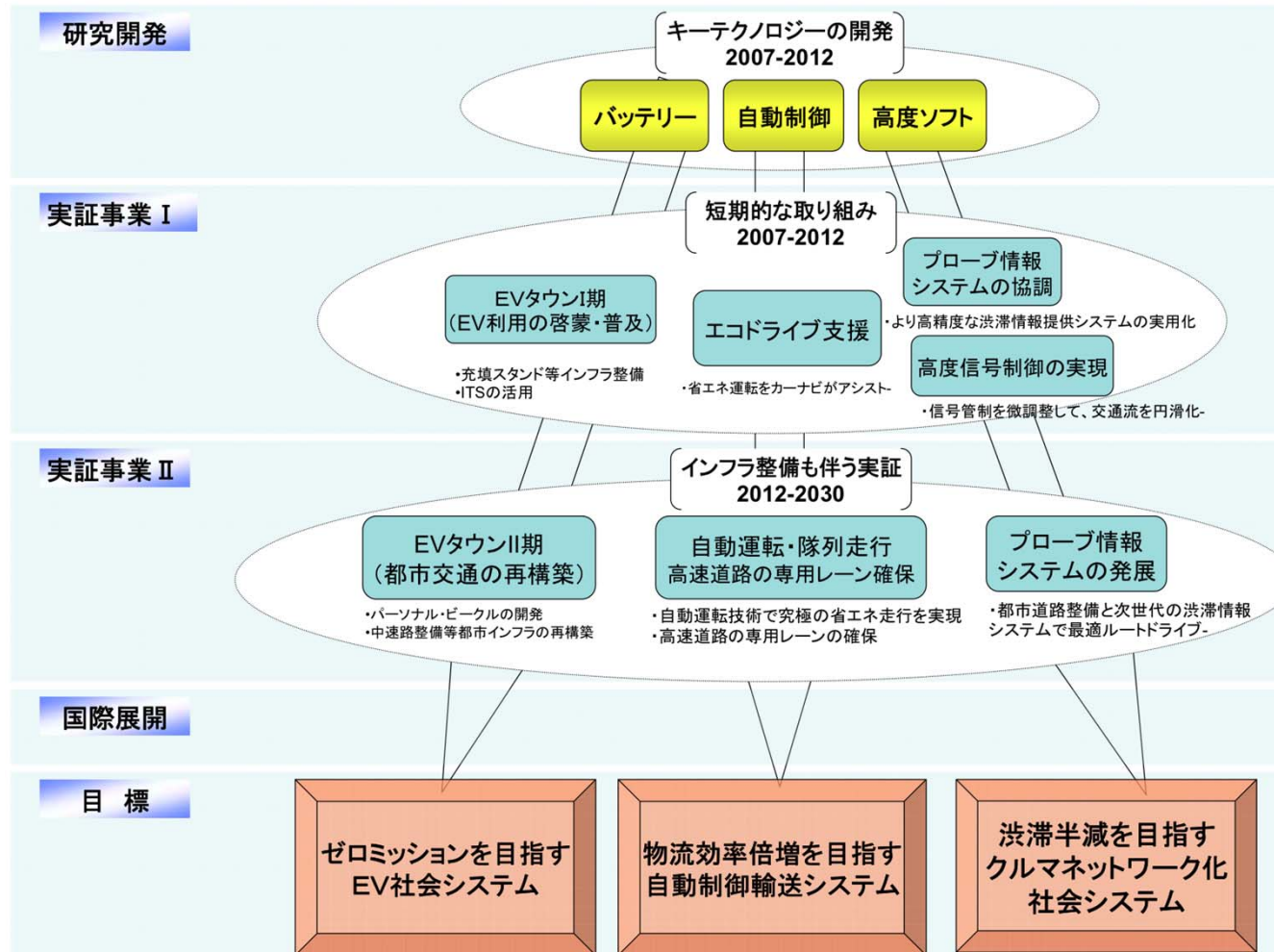
東京の平均車速 : 18[km/h]
ロンドン : 30[km/h]
パリ : 26[km/h]

←人口10万人・自動車1万台・自動車
1億走行キロ当たりの交通事故死傷者数

自動車交通における省エネルギー・安全対策が
重要な課題

研究背景

省エネルギー・安全に向けた取り組み



世界一やさしいクルマ社会の実現に向けた取り組み

出典:参考文献[2]

研究背景

安全運転支援技術

- **ASV** (車両を中心とした支援システム)
 - ACC、衝突被害軽減ブレーキ、
レーンキープアシスト
- **AHS** (高速道路を中心とした支援システム)
 - 前方障害物情報提供、合流支援
- **DSSS** (一般道路を中心とした支援システム)
 - 各種感知機が視認困難な人・物を検出
→ 車載装置、交通情報板を通して注意喚起

技術的には**自動運転**も実現可能
(コストや法整備の面で課題)

自動運転の定義

- **運転支援**

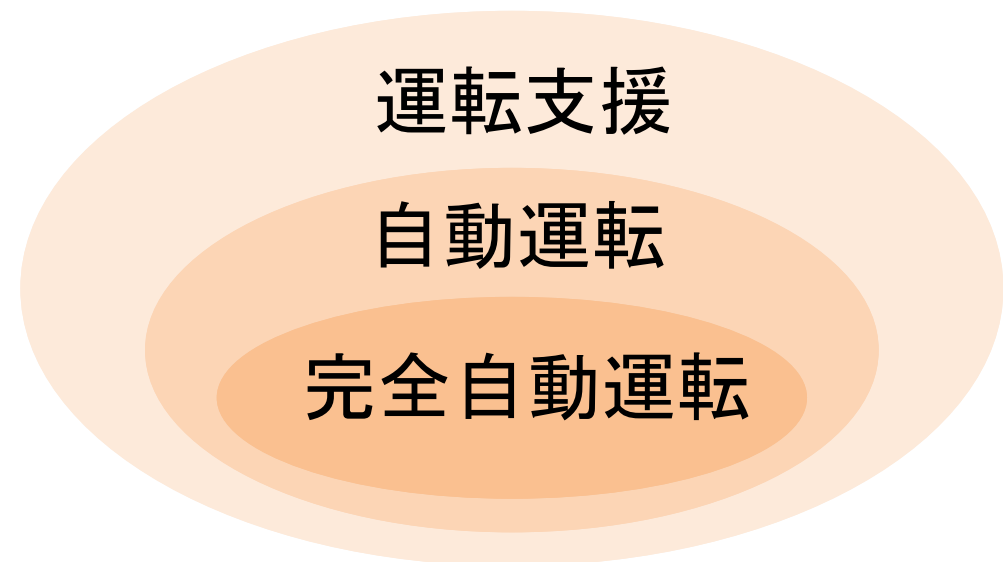
→ドライバーに対して情報提供・注意喚起・警報・操作支援をするシステム

- **自動運転**

→運転タスクの少なくとも一部を、ドライバーから機械に渡した場合の運転

- **完全自動運転**

→人間の介入する余地を排除した場合の運転



研究目的

自動運転が与える影響に関して定量的によくわかっていない

- 1, 交通流シミュレーションを用いて
手動運転・自動運転を模擬した走行を比較

交通流・CO₂排出量の変化を定量的に分析

- 2, ドライブシミュレータを用いて
手動運転・完全自動運転を体験してもらい比較

平均速度・車間距離・アクセル・ブレーキワークの定量的分析

アンケートによる主観評価

自動運転の持つリスク低減効果・問題点・
今後進むべき方向性の考察

交通流シミュレーションを用いた分析

手動運転か自動運転かによって
それぞれ運転パターンが相異

車両の運転パターンは自車だけでなく他車両にも影響

複数の車両が同時に影響しあいつつ
走行することにより流れを形成

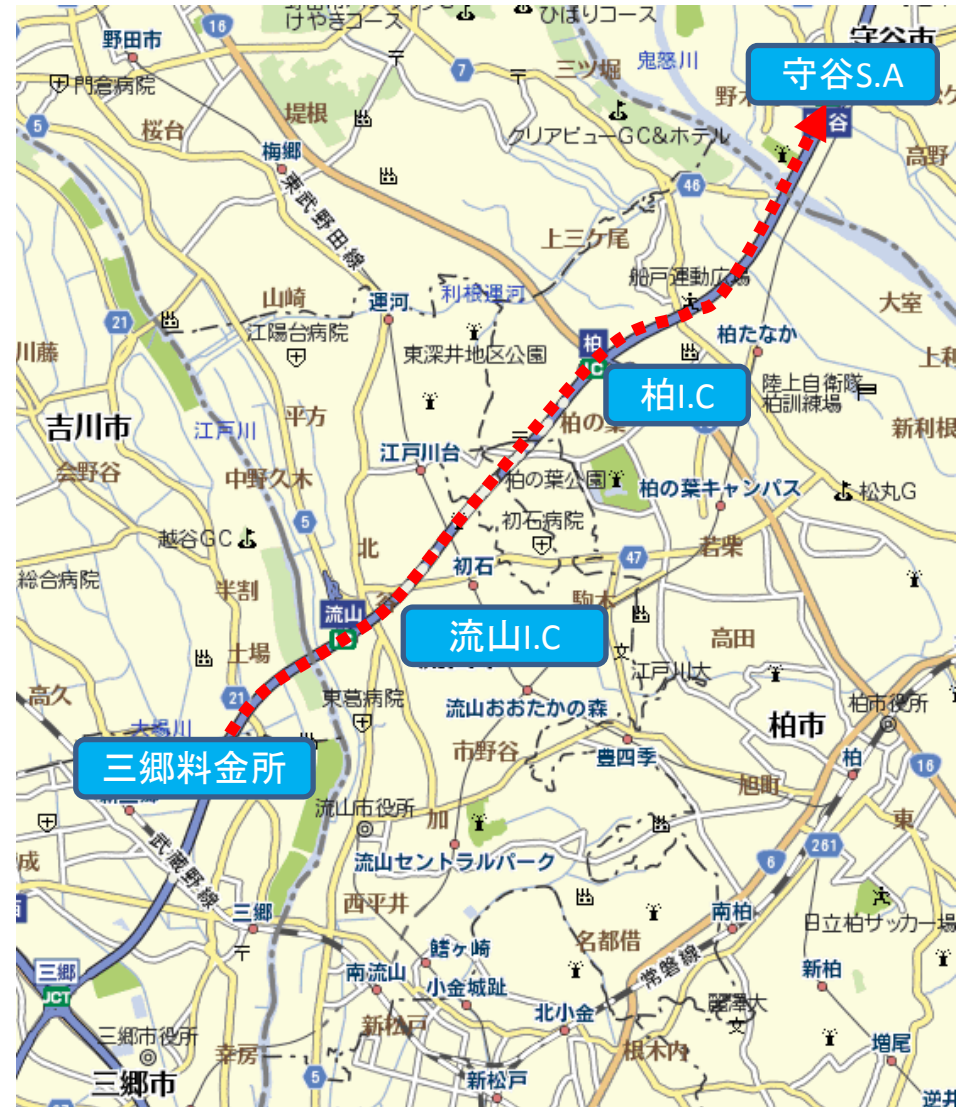
手動運転と自動運転の交通流を比較・計測すること
によって自動運転の効果を定量的に分析可能

分析手法

- 対象場所
- 使用アプリケーション
- シミュレーションモデル式
- パラメータ設定
- 評価指標

対象地域

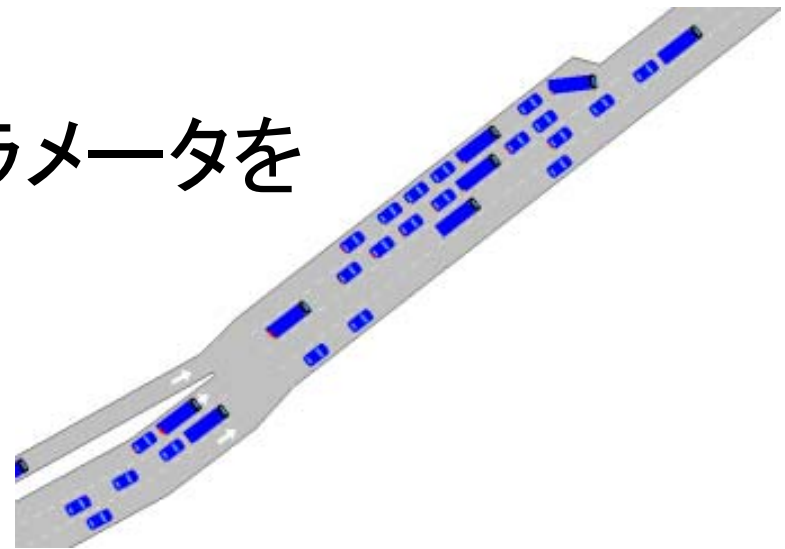
- ・自動運転の想定および分析が簡単でさらに、導入されやすい高速道路を対象
- ・大学から近く高低差の少ない常磐自動車道の三郷料金所～守谷S.A.間の区間を設定
- ・車線数-3車線
- ・制限速度-80km/h
- ・区間距離-11.3km



使用アプリケーション

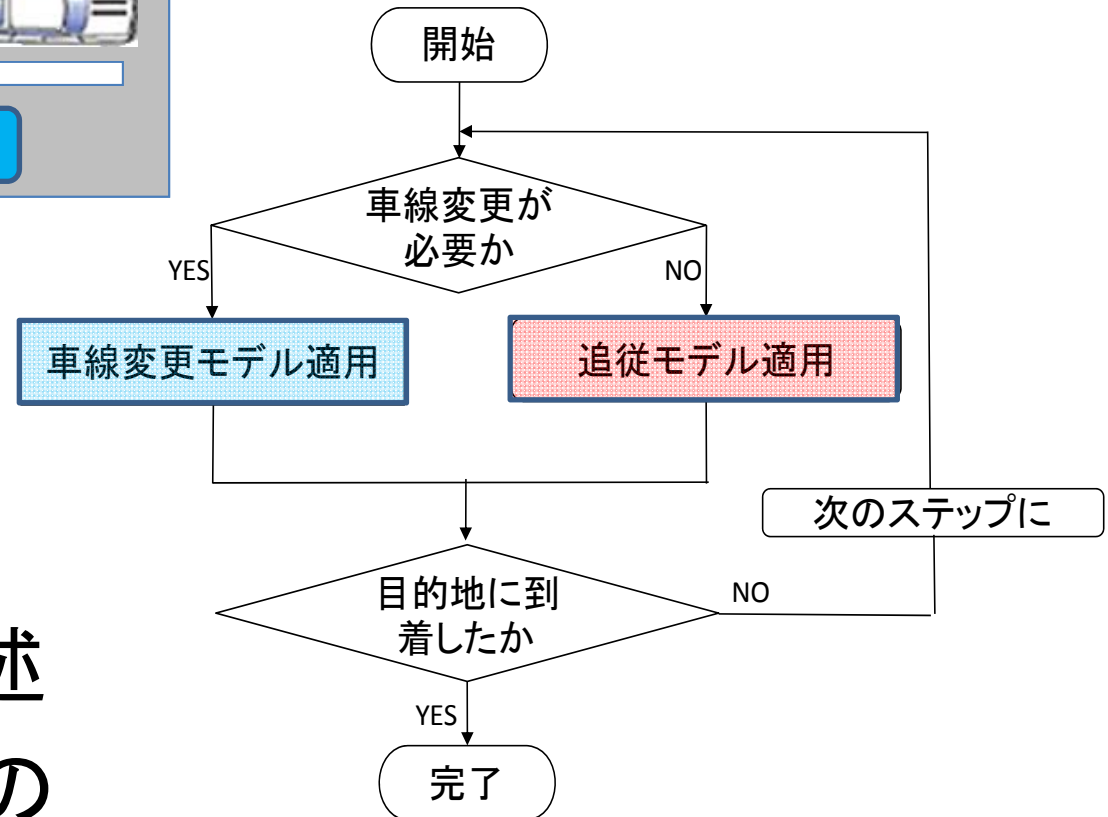
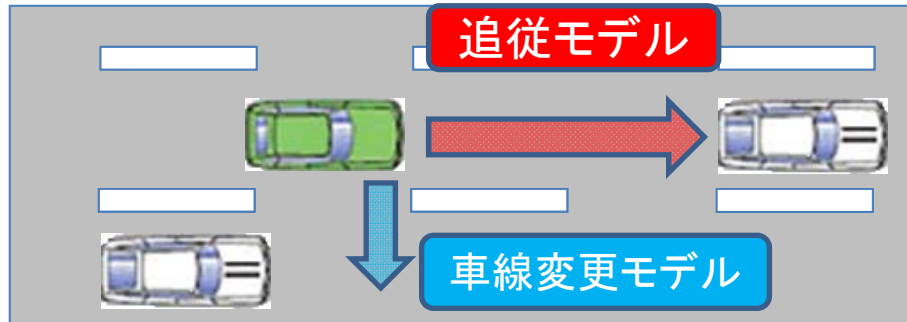
○Aimsun(ユーデック株式会社)

- 追従モデルシミュレーションが可能
 - 車両個々の挙動から分析
- パラメータの変更が可能
 - 手動運転と自動運転のパラメータをそれぞれ設定できる
- ビジュアル的表現が可能



<合流地点での渋滞時の例>

シミュレーションの構造



- 1単位時間(0.1秒)を1ステップで車両の挙動を時系列で記述
- 今回は追従モデルのパラメータのみ設定

追従モデル式

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \times \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)}\right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

自由加速時

$V(n, t)$: 車両nのt時点での速度 T : 反応時間 $a(n)$: 車両nの最大加速度
 $V^*(n)$: 車両n運転者の希望速度

$$V_b(n, t + T) = d(n)T +$$

$$\sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2\{x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t)\} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]}$$

前方車両減速時

$d(n)$: 車両nの最大減速度 $x(n, t)$: 車両nのt時点での位置

$$d'(n-1) = d(n-1) * \alpha$$

α は前方車両の減速に対する感度

$$V(n, t + T) = \min\{V_a(m, t + T), V_b(n, t + T)\}$$

2速度のうち低い方を取る

$$x(n, t + T) = x(n, t) + V(n, t + T)T$$

速度から位置を計算する

0.1秒間隔で各車両の速度と位置が計算される

パラメータ設定

・反応時間の早さ

→自動運転で反応が早くなるとどうなるか

・感度の良さ(変動)

→前方車両との車車間通信により前方車両の減速を正確に読み取れるとどうなるか

・希望速度の変動

→路車間通信によりある区間での適正速度で一律的に走行させるとどうなるか

パラメータ設定値

反応時間[s]		遅	速
		2	0.1
感度		変動有	変動無
		0.5	0
速度[km/h]		変動有	変動無
小型	最大値	140	90
	平均値	90	90
	最小値	80	90
	標準偏差	10	0
大型	最大値	100	80
	平均値	80	80
	最小値	70	80
	標準偏差	10	0

パラメータ組み合わせによる8ケース

ケース	速度変動	反応時間	感度変動	説明
1	有	遅	有	手動運転
2	有	遅	無	速度変動を許容したマイルドな自動運転
3	有	速	有	速度変動を許容したばらつきのある自動運転
4	有	速	無	速度変動のみを許容した自動運転
5	無	遅	有	速度のみを設定した自動運転
6	無	遅	無	マイルドな自動運転
7	無	速	有	ばらつきのある自動運転
8	無	速	無	自動運転

交通量が多い時4000[台/時]と少ない時[2000台/時]それぞれ各8ケース適用、全体16通りのケースを想定

評価指標

<時間評価>

- 三郷から守谷S.Aまで走行した車両の平均所要時間
[秒]

<環境評価>

- 三郷から守谷S.Aまで走行した車両の平均ガソリン消費量[L]
- 平均ガソリン消費量に1[L]あたりCO₂排出量2.36[kg/l]をかけた平均CO₂排出量[kg]

Vehicle State	Fuel Consumed (ml) during Δt
Idling	$F_i \Delta t$
Accelerating with acceleration a (m/s/s) and speed v (m/s)	$(c_1 + c_2 a v) \Delta t$
Cruising at speed v (m/s)	$(k_1 (1 + (\frac{v}{2v_m})^3) + k_2 v) \Delta t$
Decelerating	$F_d \Delta t$

パラメータ	F _i	C ₁	C ₂	F ₁	F ₂	F _d
値	0.333	0.42	0.26	4.7	6.5	0.537

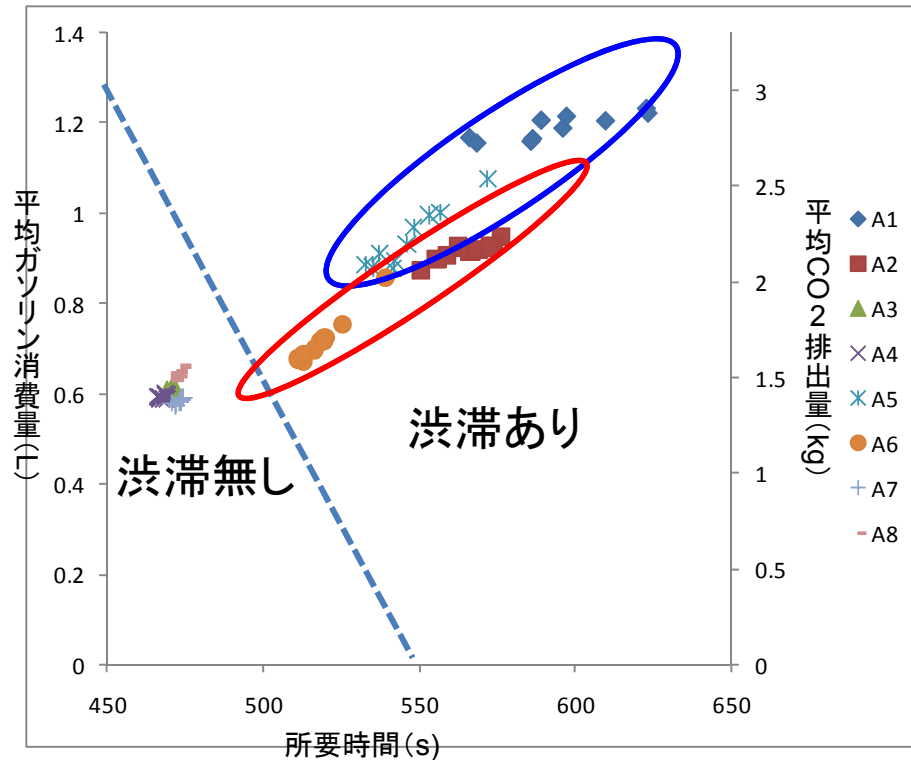
<ガソリン消費量計算式および設定したパラメータ>

分析結果

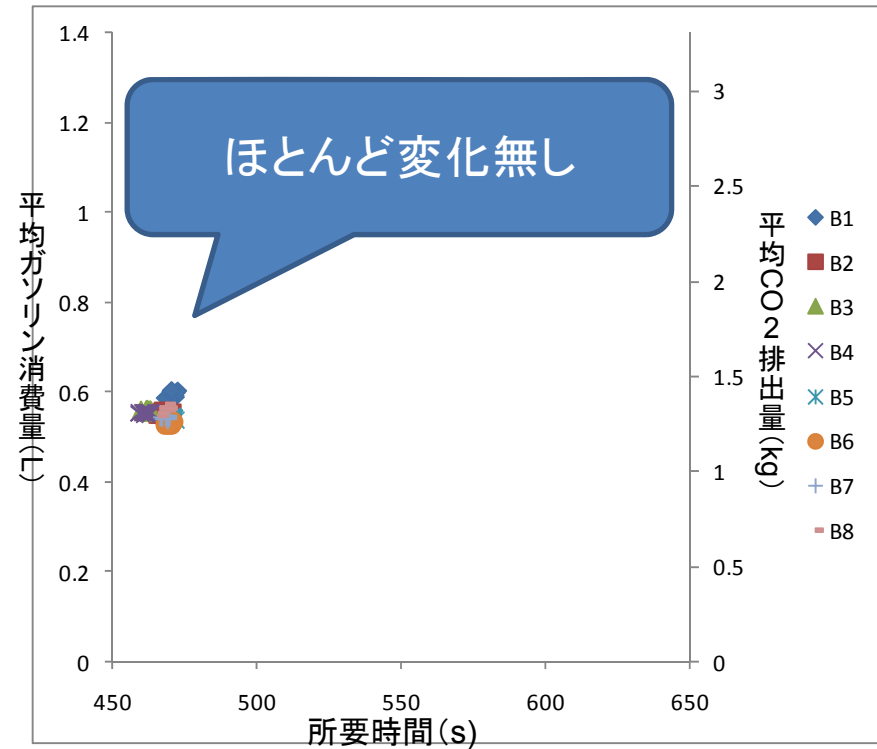
16ケースそれぞれ10回のシミュレーション試行結果

ケース	平均速度 [km/h]	s.t.	平均所要時間 [s]	s.t.	所要時間標準偏差の10回平均[s]	平均ガソリン消費 [L]	平均CO ₂ 排出量 [kg]
A1	69.5	1.42	595	19.71	62	1.19	2.82
A2	72.8	0.81	564	8.81	53	0.92	2.16
A3	86.0	0.14	471	0.75	40	0.61	1.44
A4	86.9	0.17	468	1.08	42	0.59	1.40
A5	74.2	1.24	547	11.66	42	0.94	2.23
A6	77.8	0.72	520	8.06	31	0.72	1.71
A7	85.3	0.14	473	1.28	23	0.59	1.38
A8	85.8	0.16	472	0.95	24	0.65	1.52
B1	86.4	0.28	471	1.28	40	0.59	1.40
B2	87.1	0.15	468	1.72	42	0.55	1.31
B3	88.2	0.21	462	1.10	44	0.56	1.32
B4	88.5	0.13	461	1.46	45	0.55	1.31
B5	86.0	0.10	471	0.78	24	0.54	1.28
B6	86.4	0.10	469	1.09	24	0.53	1.25
B7	86.7	0.12	469	0.92	24	0.54	1.28
B8	86.9	0.15	467	1.15	24	0.56	1.33

分析結果



交通量(大)の場合の各ケースの結果



交通量(少)の場合の各ケースの結果

- ・交通量が少ない場合には**ほとんど変化無し**
- ・交通量が多い場合、**A1,A2,A5,A6**(反応時間の長いケース)で所要時間と燃料消費量・CO2の**増加**が顕著(渋滞あり)
- ・交通量が多い場合のガソリン消費量およびCO2排出量
A2,A6(**感度変動無し**) < A1,A5(**感度変動有り**)

ドライブシミュレータを用いた分析

- 分析手法
 - 参加者
 - 実験装置
 - 走行コース
 - 計測要素
 - 自動運転と手動運転
 - 計測手順
- 評価方法
 - 計測データ、アンケートによる評価方法
- 分析結果と考察

分析手法

参加者と実験装置

- 参加者
 - 普通自動車運転免許を有し、日頃から運転をする20代男性8名が実験に参加
- 実験装置
 - forum8社製、UC-win/Roadドライブシミュレータを使用
 - シミュレーションソフト UC-win/Road Ver.3.4 と対応



分析手法

走行コースと計測要素

- 走行コース
 - 常磐自動車道(三郷～守谷S.A.間)
 - 交通量を混雑時・標準時と2種類の変化
- 計測要素
 - 速度
 - 前者との車間距離
 - アクセル・ブレーキワーク
 - 車線変更回数

分析手法

自動運転と手動運転

- 自動運転
 - シミュレーションソフトの自動モードを使用
 - 全車一括制御の自動運転ができたと仮定
- 手動運転
 - 車線変更等の人工的な外乱を加えた
 - ドライブシミュレータを接続して実現

分析手法

ドライブシミュレーションの様子



左上 合流地点

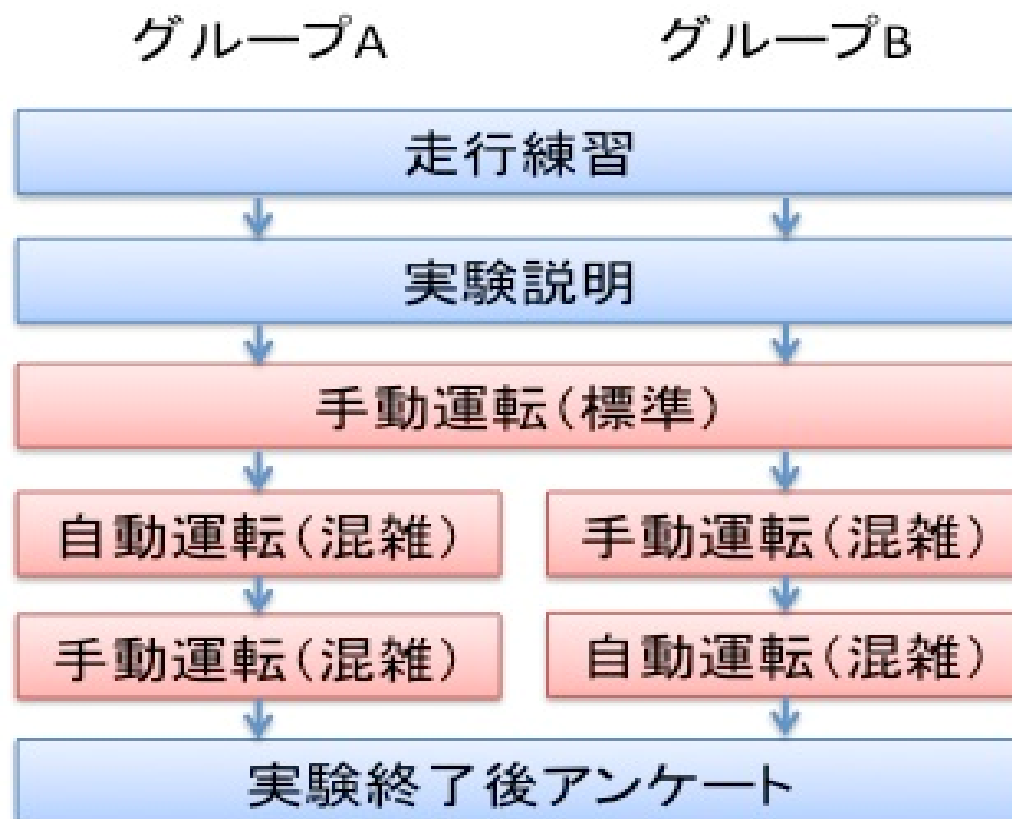
右上 手動標準

左下 自動運転

分析手法

計測手順

以下のように実験を行った



(標準:2000[台/時間]、混雑:4000[台/時間])

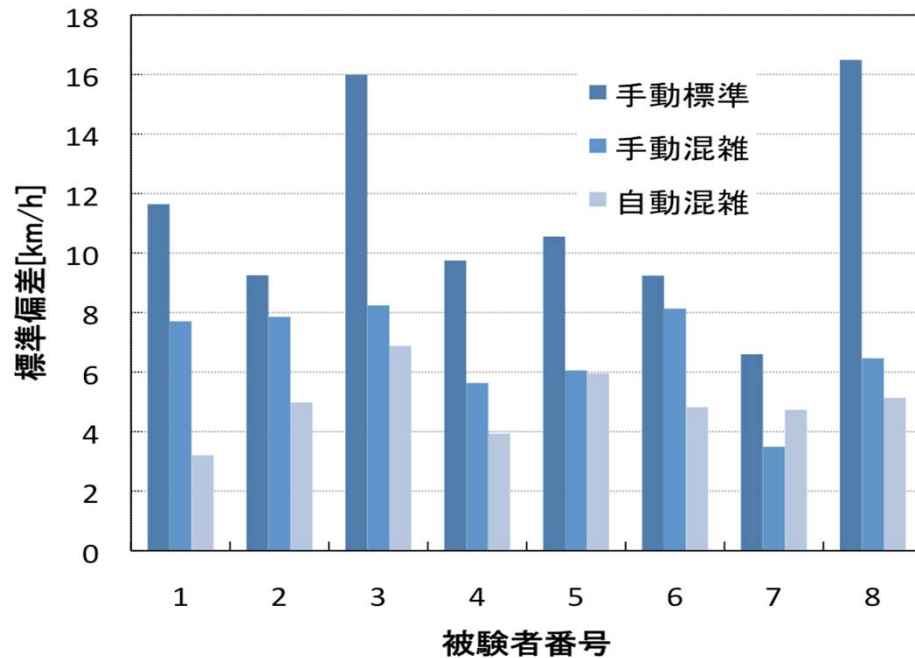
評価方法

- 計測データによる評価方法
 - 被験者のクセを見つけ、アンケートとの関連を見つける
- アンケートによる評価方法
 - 自動運転を行った時の不安等について5段階評価をしてもらう
 - 自動運転を導入することによって改善されるであろう点について評価してもらう

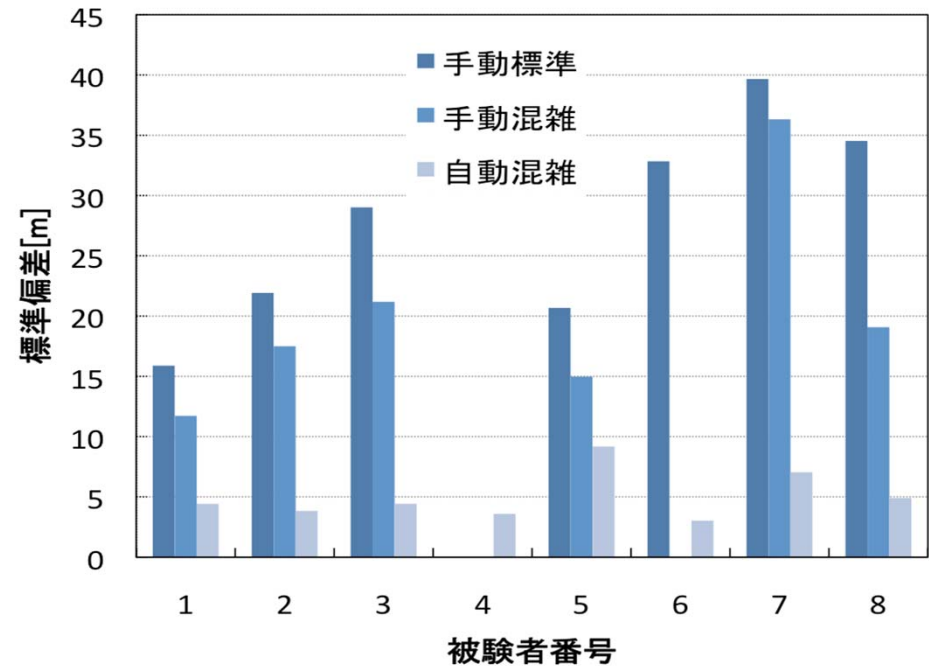
※アンケート内容の詳細は報告書図6を参照

結果と考察

手動運転・自動運転の比較



速度の標準偏差



車間距離の標準偏差

自動運転は速度・車間距離両方の標準偏差について、手動運転より小さな値を取っている
→効率の良い運転が実現できている

結果と考察

平均速度・平均車間距離

	手動標準	手動混雑	自動混雑
平均速度 [km/h]	87.7	40.9	39.9
平均車間 距離[m]	46.8	34.8	21.2

自動運転を導入することによって車間距離が詰まり、
より多くの交通量に対応できる

平均速度は、ほとんど変わらなかった

結果と考察

アクセル・ブレーキワーク

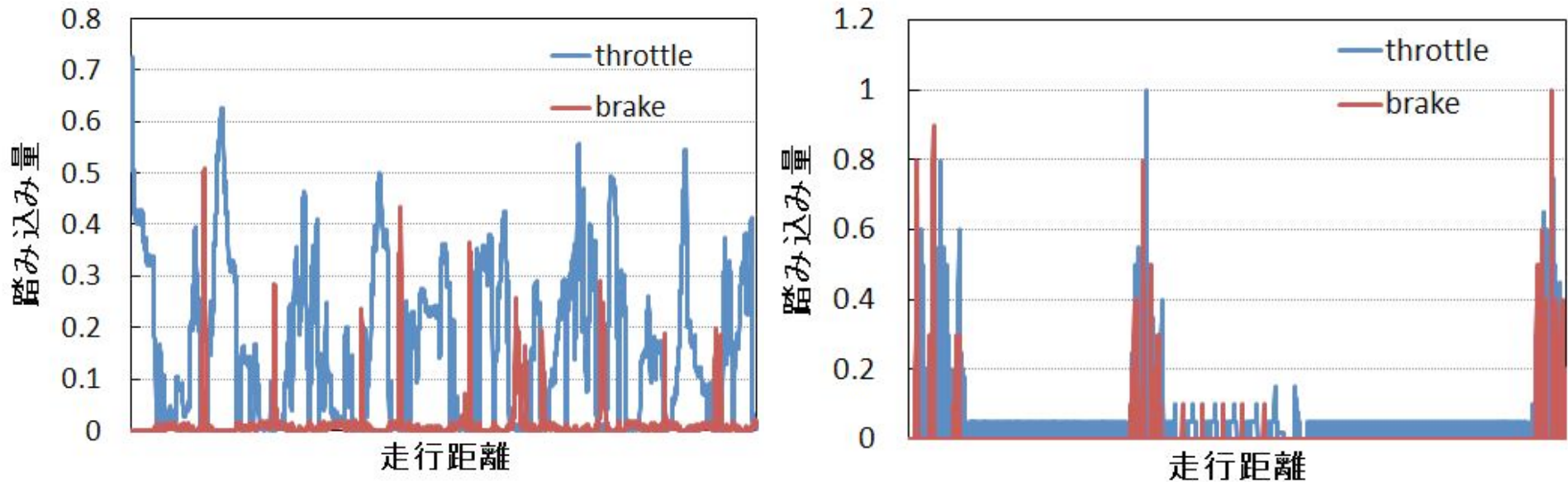


図 アクセル・ブレーキワーク(参加者01) 左 手動標準 右 自動運転)

自動運転の方が、アクセル・ブレーキワーク
共に最小限に抑えられている

結果と考察

アンケート結果の平均値

質問1：自動運転において、どの点に不安を感じましたか？
1, カーブ地点
2, 合流地点
3, 他車の割り込み
4, 自車の車線変更
5, 車間距離の減少
質問2：自動運転が導入されることで、以下にあげられる点が改善されるとした場合、高速道路への自動運転の導入に賛成しますか？
1, 渋滞が減少し、目的地までの時間が削減される。
2, 速度変化がなくなり、CO ₂ 排出量が削減される。
3, ガソリン代削減等によりコストが削減される。
4, 運転を行わないですみ、運転負担を軽減できる。その間別の仕事が可能になる。

質問1	平均値	質問2	平均値
1	3.8	1	4.2
2	2.3	2	3.8
3	1.7	3	4.1
4	2.6	4	3.2
5	3.2		

他車の割り込みがあった場合に、不安を感じる人が多い

結果と考察

メリット内で重視する順番[%]

	時間削減	CO ₂ 排出量削減	コスト削減	運転負担軽減
1位	50.0	12.5	0.0	37.5
2位	37.5	12.5	50.0	0.0
3位	12.5	25.0	37.5	12.5
4位	0.0	37.5	12.5	50.0

時間削減を1位に選んだ4人のうち3人は、
4位に運転負担軽減選んだ

運転負担軽減を1位に選んだ3人は、
手動運転時の標準偏差が大きい傾向にあった

まとめ

- 交通流シミュレーションを用いた分析
 - 交通流が多い場合、反応時間の速い自動運転を行うと、手動運転と比較し**所要時間が20%程度**、**CO₂排出量が50%弱改善**
- ドライブシミュレータを用いた分析
 - 自動運転を行うことで、**速度・車間距離の標準偏差が減少**
 - 自動運転時、**他車の割り込み**があった場合に不安を感じる人が多い
 - 自動運転のメリットとして、**時間の短縮**を重視する人の割合が高く、**運転負担の軽減**に関しては、メリットとする人とならない人で大きな差

今後の課題

- 交通流シミュレーションの分析
 - より現実に合わせた交通流モデルの開発
 - インフラを含めたトータルコストの分析
- ドライブシミュレータを用いた分析
 - 参加者の数を増やす(様々な年代・性別・運転歴を持った人を対象に分析)

参考文献

- [1] 内閣府ホームページ 平成18年度交通事故の状況及び交通安全施策の現状：
http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h19kou_haku/genkyou/h1/h1_01.html
- [2] 経済産業省: 次世代自動車・燃料イニシアティブ (2007)
- [3] 大口ら: 高速道路交通流の臨界領域における事故率の検討, 交通工学 39巻,3号 41-46 (2004)
- [4] 伊藤誠: ITSにおける人間と機械の機能分担, 計測と制御 47巻,2号,107-112 (2008)
- [5] 加藤, 津川ら: 車々・路車間通信による予見的速度制御の交通流改善効果の一考察, 自動車技術会秋季学術講演会 40巻,3号,919-924 (2008)
- [6] (社)交通工学研究会: 平成17年度道路交通センサス一般交通量調査(2007)
- [7] ECCJ省エネルギーセンターホームページ:
<http://www.eccj.or.jp/qanda/co2/qa.html>

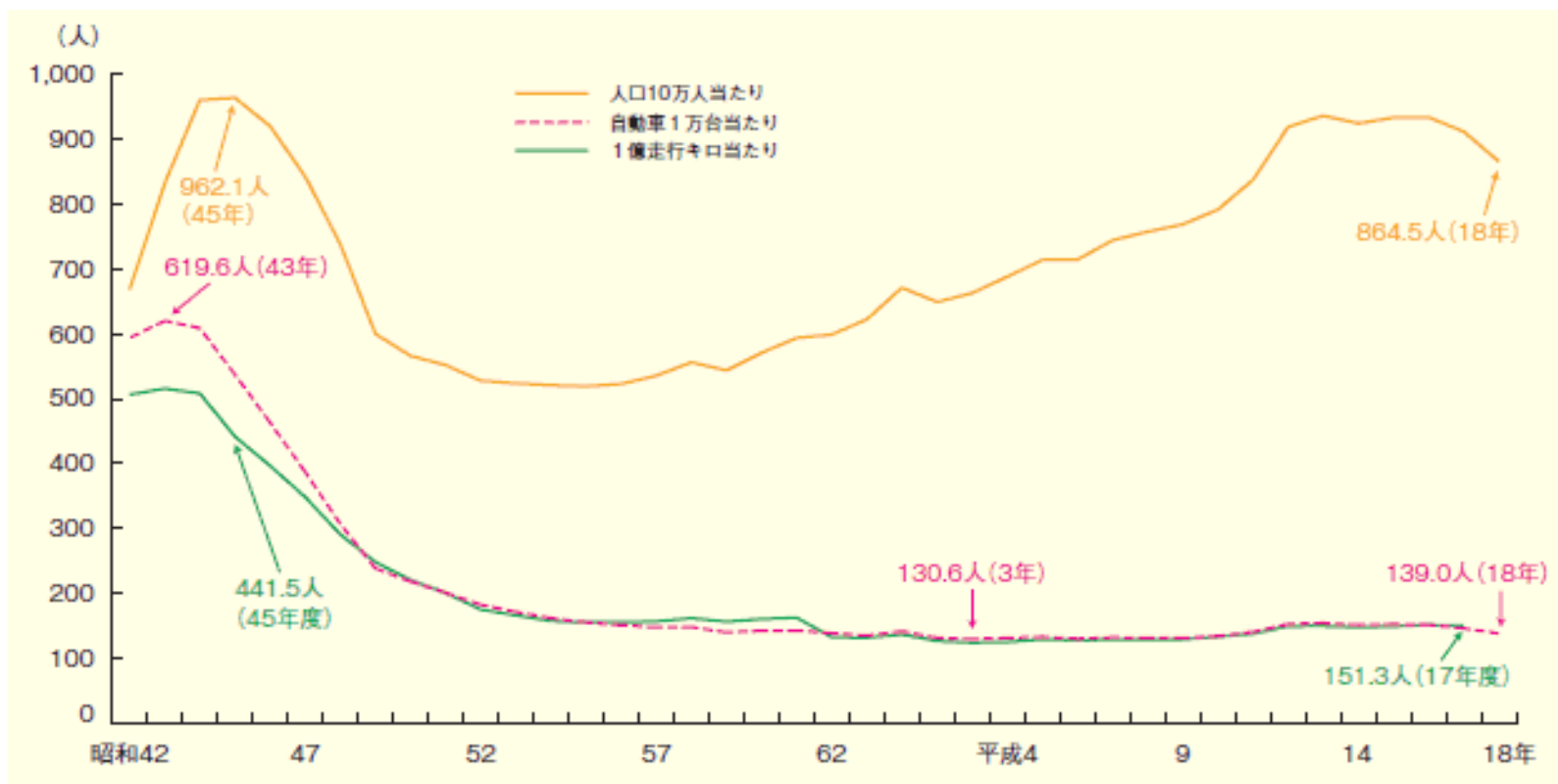
ご静聴ありがとうございました



以下 參考資料

研究背景

交通事故の現状

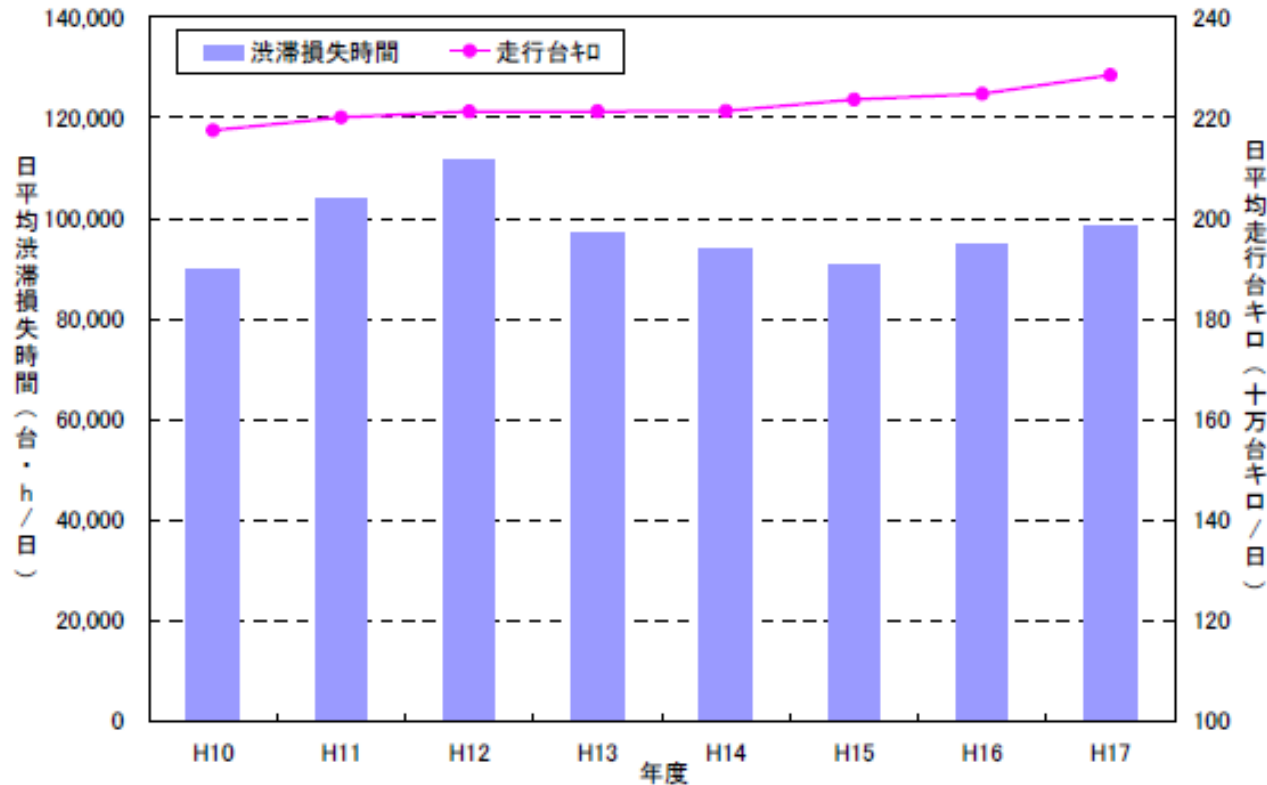


人口10万人・自動車1万台・自動車1億走行キロ当たりの交通事故死傷者数

交通事故の死傷者数は近年ほぼ一定の割合で推移

研究背景

渋滞の現状



首都高速渋滞損失時間、走行台キロの推移(平日平均)

都心部を中心に渋滞も多数発生

出典:首都高渋滞対策アクションプログラム(H18)

研究背景

交通事故と渋滞













車両感知器 位置 [φ]	勢力範囲 区間長[km]	総走行台キロ[60日, 13時~20時]			総走行台数 [万台]
		非拘束領域	臨界領域	渋滞領域	
21.21	1.12	1,707,319	545,461	21,724	204
23.02	1.88	989,756	433,526	6,975	76
24.97	1.86	2,912,033	784,529	59,299	202
26.74	1.89	2,027,388	515,068	51,650	137
28.75	1.89	1,002,765	1,518,245	1,277,796	202
30.51	1.97	1,322,955	886,768	1,785,169	203
32.69	2.62	1,697,587	1,342,839	2,258,494	203
35.74	1.79	1,293,673	29,938	1,182,404	140
合計	15.00	12,953,478	6,056,375	6,643,510	
事故件数[件]		1	24	21	
事故率[件/億台キロ]		7.7	396.3	316.1	

東名高速道路における交通流状態別の総交通量と事故率

出典: 参考文献[3]

自動運転の定義

- ① **支援レベル-i** : ドライバーの情報収集の一部をシステムが支援するレベル。情報提供、注意喚起支援、警報支援 (情報提供サービス)
- ② **支援レベル-c** : ドライバーの情報収集の一部に加えて運転操作の一部もシステムが支援するレベル。(操作支援サービス)
- ③ **支援レベル-a** : 情報収集と運転操作及び責任の全てをシステムが負うレベル。(自動運転サービス)

	現状	支援レベル-i	支援レベル-c	支援レベル-a
情報				
操作				
責任				

本研究での定義

運転支援 自動運転 完全自動運転

出典: 走行支援道路システム開発機構ホームページ

ASV(先進安全自動車)

- ・ 車両の周辺や路面の状況などを検知して、ドライバーの安全運転を支援する自動車

国土交通省によるASV推進計画の概要

	第1期	第2期	第3期	第4期
実施期間	平成3～7年度	平成8～12年度	平成13～17年度	平成18～22年度
目的	技術的可能性の検討	実用化のための研究開発	・普及促進のための検討 ・新たな技術開発	・本格的な普及促進 ・通信を利用した安全システムの一部実用化
検討対象技術	自動車単独（自立検知型）	・自動車単独（自立検知型） ・道路インフラとの連携	・自動車単独（自立検知型） ・道路インフラとの連携	・自動車単独（自立検知型） ・他車両との連携 ・道路インフラとの連携

- ・本格的普及・実用化が進行中
- ・自動車単独から道路や他車両などとの連携に拡張

ASV開発の基本理念

1. ドライバー支援の原則

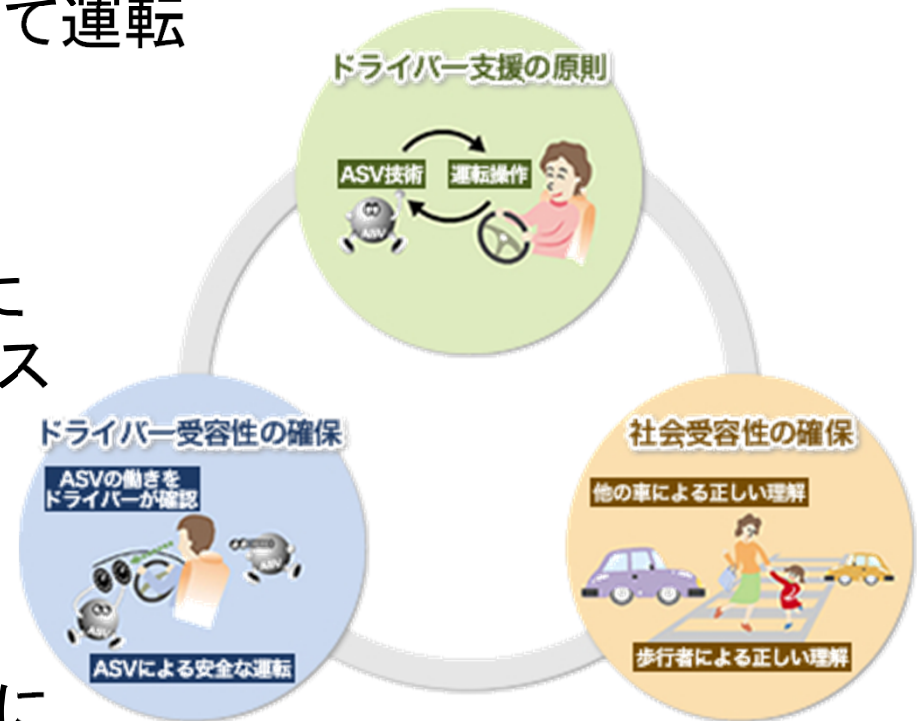
ドライバーの意思尊重、安全運転支援
ドライバーが主体的に責任をもって運転

2. ドライバー受容性の確保

使いやすく、安心して使えるように
配慮するヒューマン・インタフェース
の工夫

3. 社会受容性の確保

他の自動車や歩行者などと一緒に
走行するので、社会から正しく理解され、
受け入れられるよう配慮



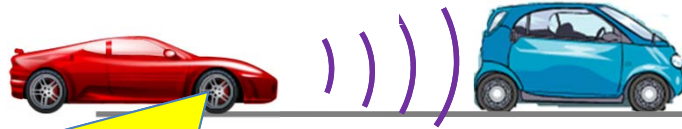
ASV技術-ACC

前方車なし



設定した速度で走行

前方車あり



車両距離を一定に保って走行



先行車に続いて停止

ドライバの運転負荷減少

ASV-衝突被害軽減ブレーキ

システムなし



大きな被害



遅いタイミングのブレーキ

システムあり

前方注意！



警告により自分でブレーキ

衝突回避



小さな被害

警報に反応し
なかった場合



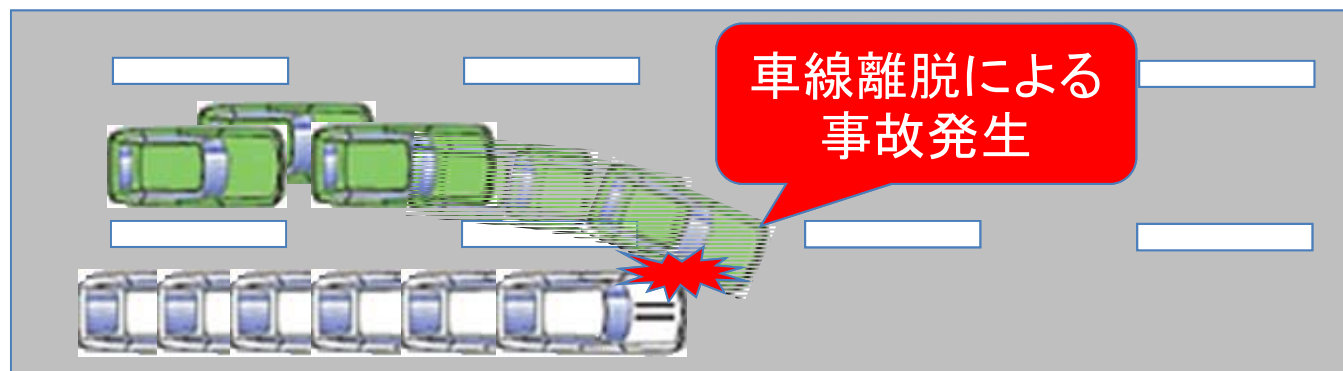
自動ブレーキ



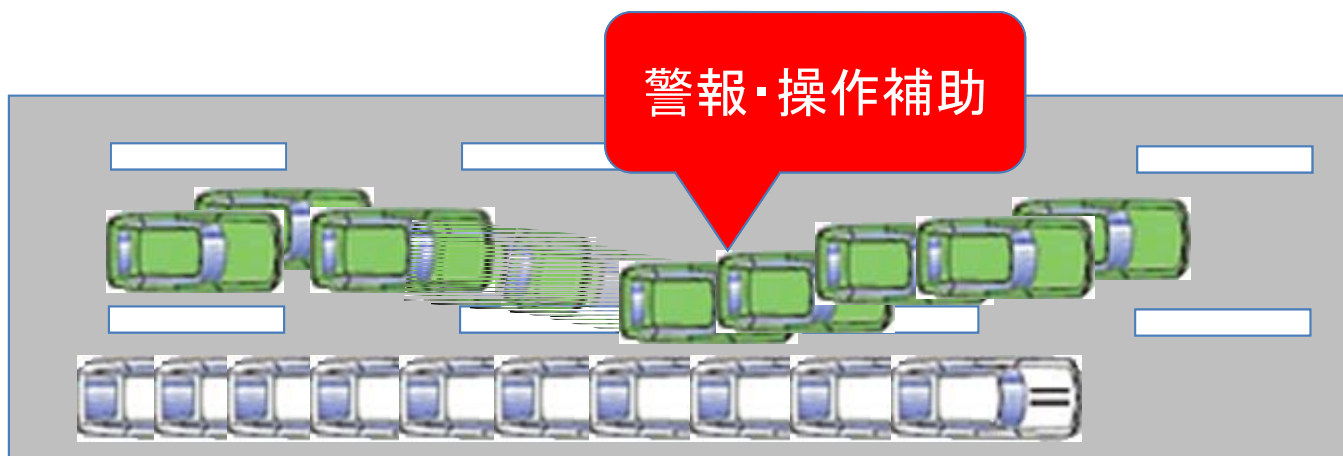
衝突回避および衝突した場合の被害軽減

ASV-レーンキープアシスト

システムなし



システムあり



ドライバーの運転負荷軽減・安全補助

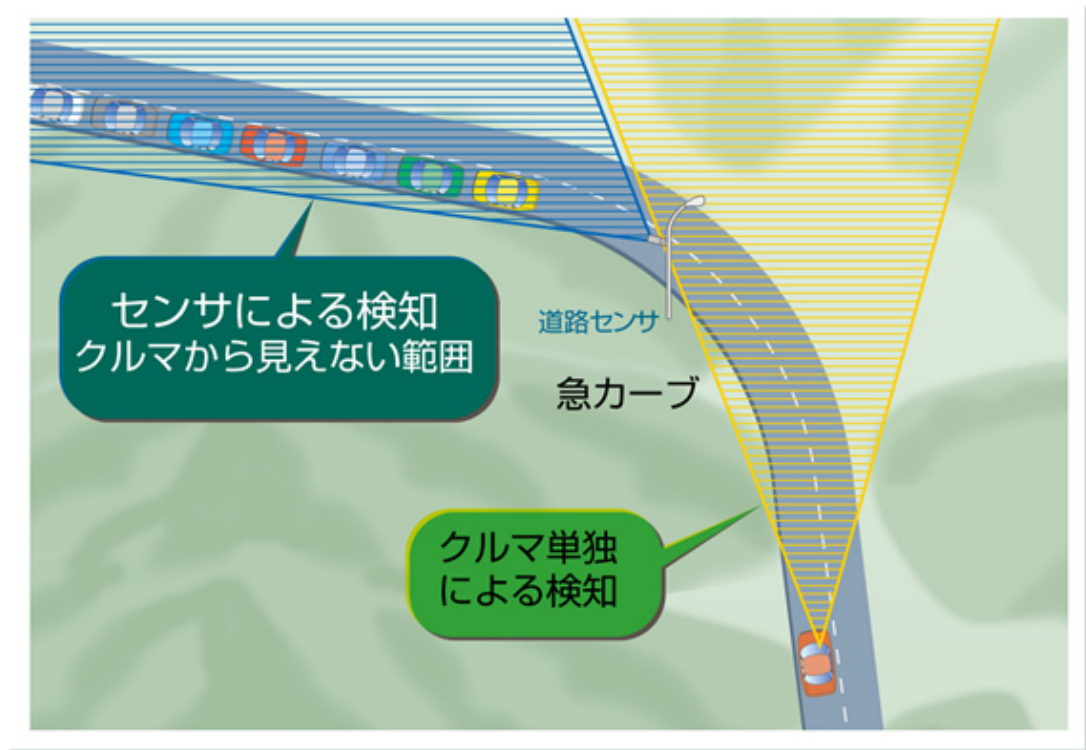
AHS(走行支援道路システム)

- 車両単独では高度なITSの実現は困難
→車両と道路インフラの長所を活かす

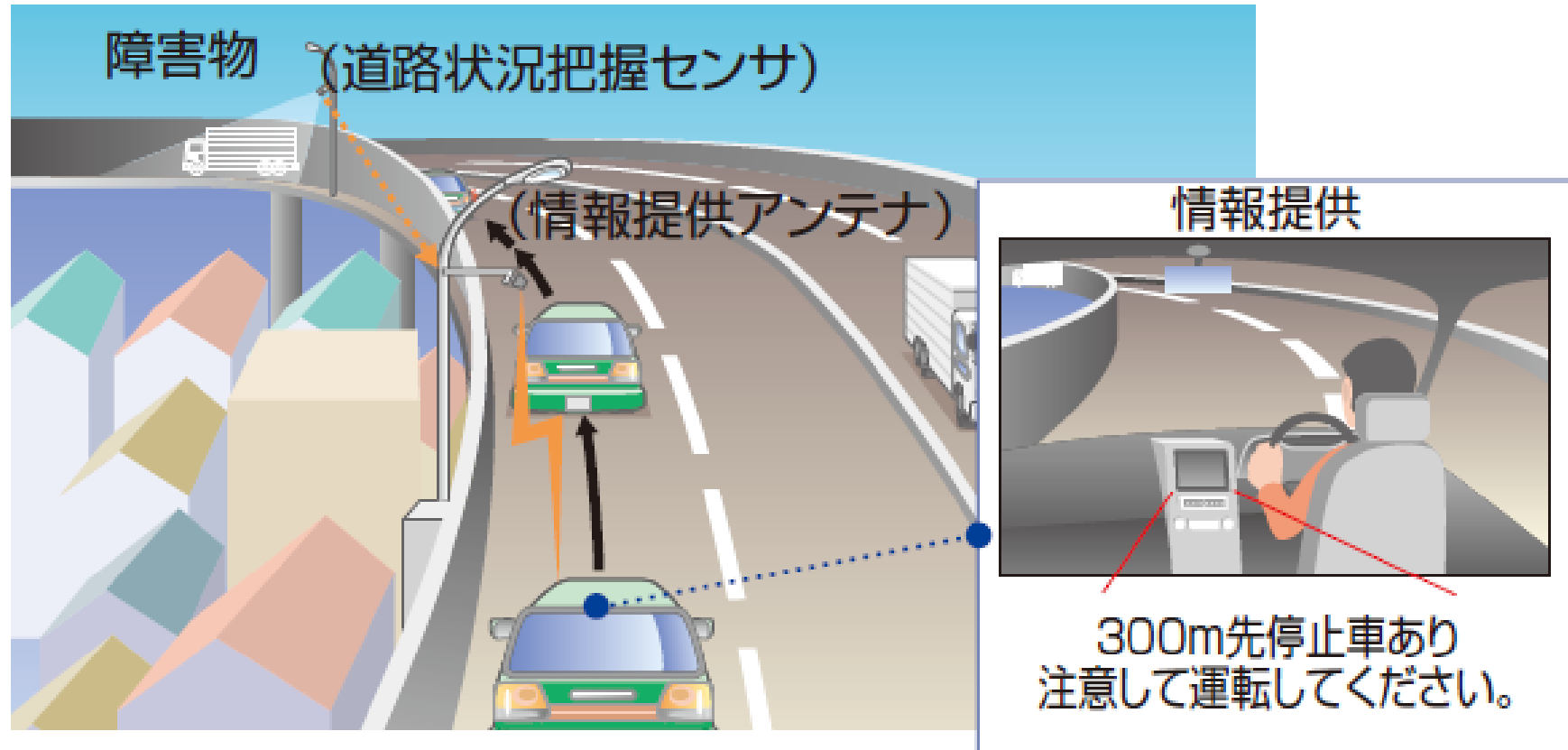
- センサ
- 路車間通信
の利用



- 安全運転
- 渋滞削減



AHS-前方障害物情報提供



センサから障害物把握→
アンテナによるドライバーへの情報提供

AHS-カーブ・合流危険防止支援

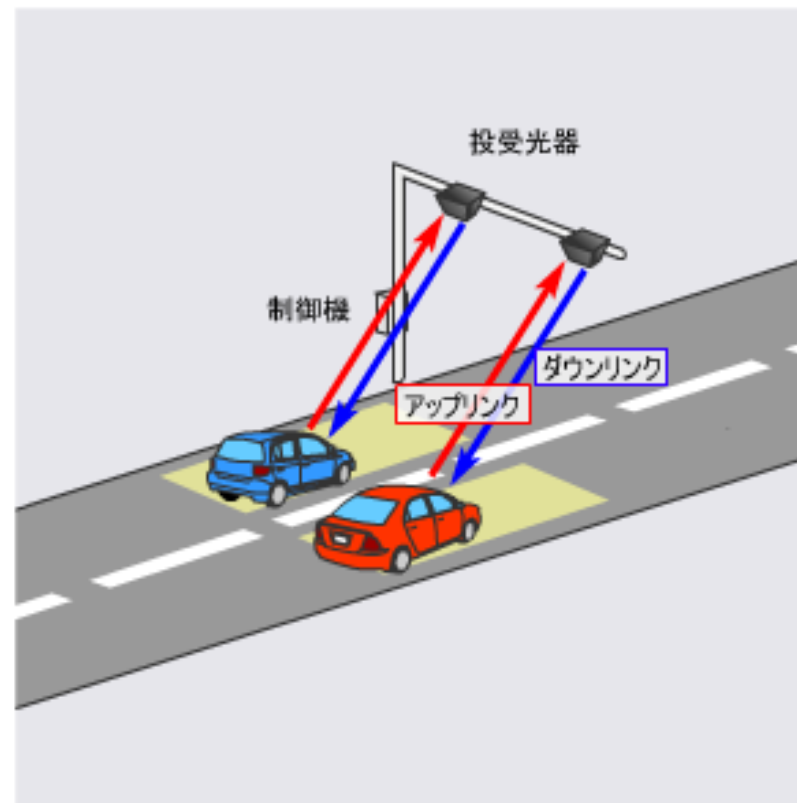


電子地図による
カーブ・合流
の情報提供



DSSS (安全運転支援システム)

- 2010年導入予定
- 双方向通信が可能な光ビーコン利用
- 車線ごとに個別の情報を提供することが可能



AHSとDSSS

	AHS	DSSS
主体	国土交通省	警察庁
対称	不特定多数車両	条件符合車両
利用道路	自動車専用道路	一般道
通信メディア	電波ビーコン、DSRC	光ビーコン
通信距離	~200m	~3.5m