



University of Tsukuba
筑波大学

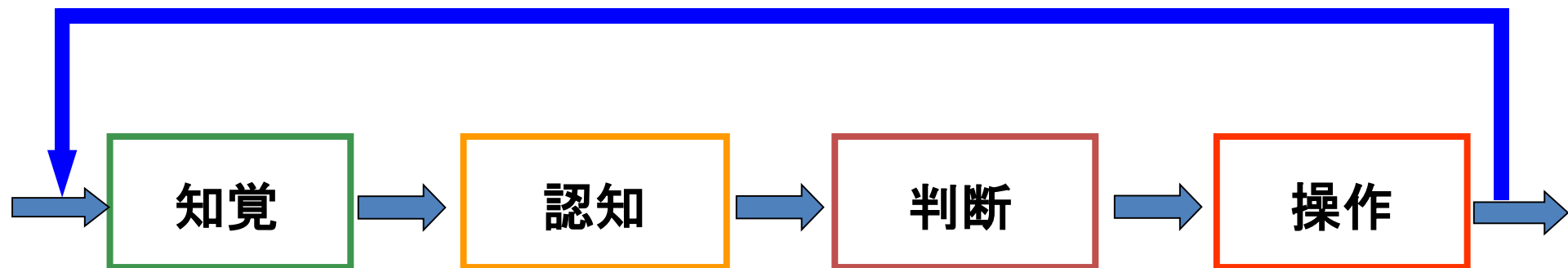
国土交通省中部運輸局
自動車事故防止セミナー2018
2019年1月24日

自動運転に繋がる運転支援技術と ヒューマンファクター

筑波大学副学長・理事
稲垣 敏之

inagaki.toshiyuki.gb@un.tsukuba.ac.jp
<http://css.risk.tsukuba.ac.jp/project/kakenhiS.html>

情報処理過程で生じるさまざまな失敗



- 見落とし、聞き落とし
- 能力の限界で見えない、聞こえない
- 実体のないものが見える、聞こえる

- 情報の意味が理解できない (知識ベースミスイク)
- 過去の経験を誤用 (ルールベースミスイク)

- 不適切な行為を選択 (知識ベースミスイク、ルールベースミスイク)
- 不適切な不作為 (リスクの過小評価)

- 意図せぬ行為による置換 (スリップ)
- 手順の一部の欠落や失念 (ラプス)
- 行為実行不能 (能力の限界)

代表的な運転支援技術 (その1)

ACC (Adaptive Cruise Control)

一定速で走行する機能および車間距離を制御する機能を持った装置

先行車なし

設定した速度で走行



運転負担軽減

先行車あり

車間距離を一定に保って走行



運転負担軽減



先行車に続いて停止

衝突被害軽減ブレーキ

前方の障害物との衝突を予測して警報し、衝突被害を軽減するために制動制御する装置

システムあり

前方注意!
警報により自分でブレーキ



間に合った!

被害が少なくてすんだ

被害が少なくてすんだ

警報に気付かない時は…

自動ブレーキ

ブレーキの制御

システムなし

発見遅れにより
遅いタイミングで
ブレーキ



間に合わない!

レーンキープアシスト

走行車線の中央付近を維持するよう操作力を制御する装置

システムあり

車線維持支援



操舵支援

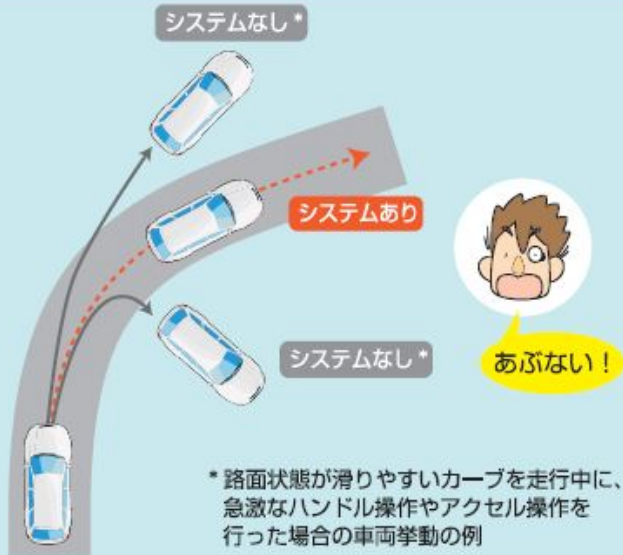


運転負荷軽減
車線逸脱警報

代表的な運転支援技術 (その2)

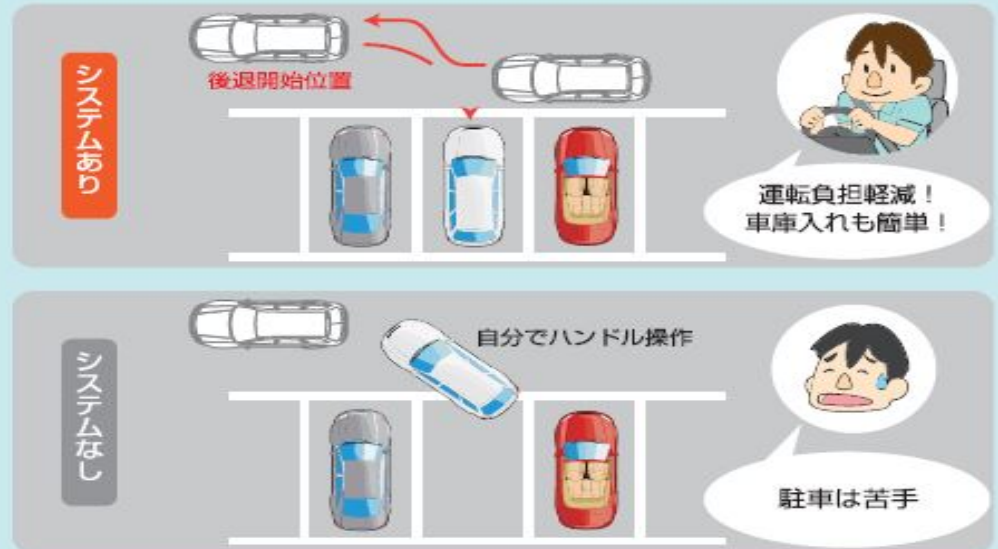
ESC (Electronic Stability Control)

車両の横滑りの状況に応じて、制動力や駆動力を制御する装置



駐車支援システム

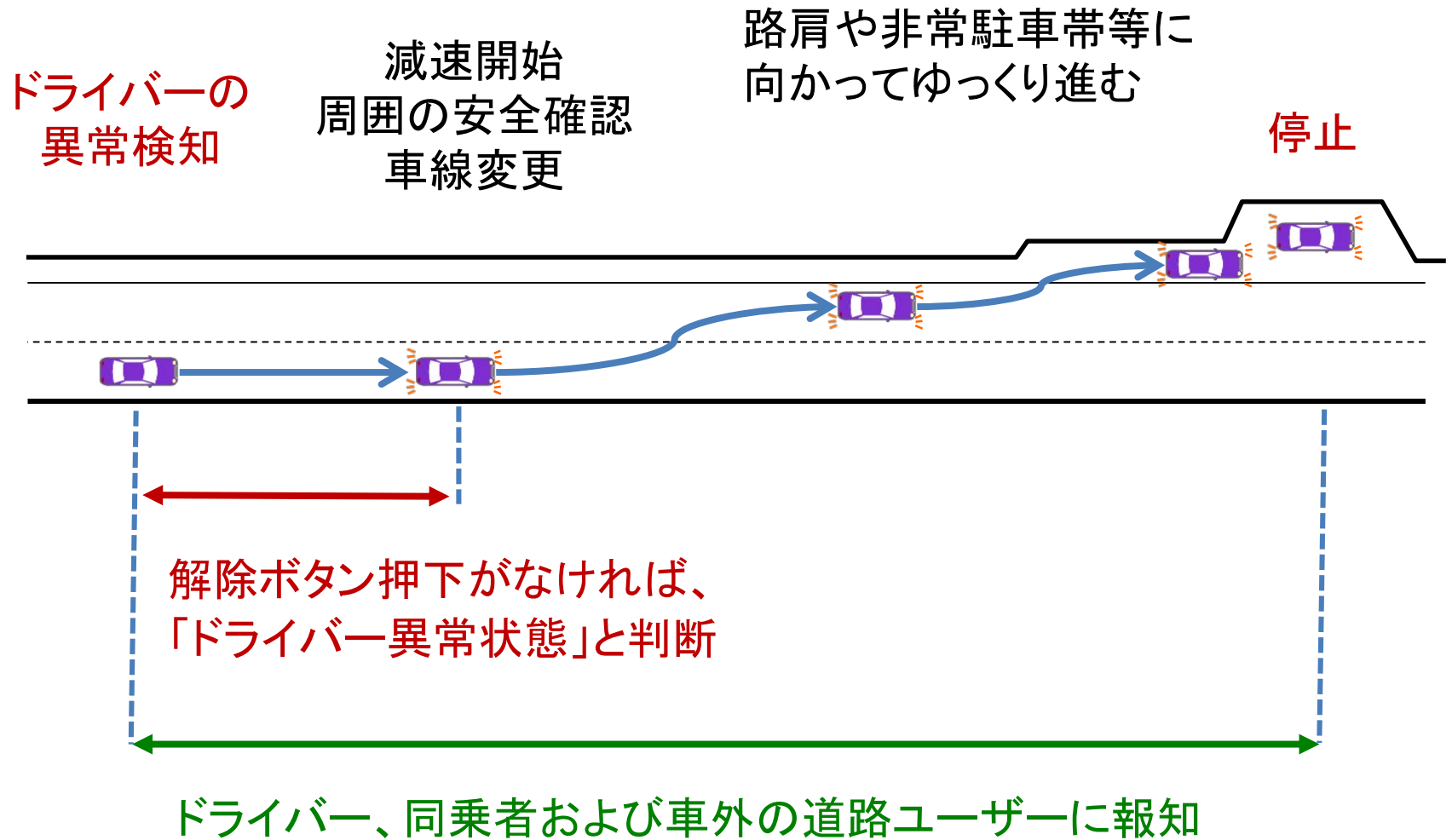
後退駐車時、ハンドルを自動制御して後退駐車を補助する装置



ドライバー異常時対応システムに関する検討



ドライバー異常時対応システム(路肩退避型)



ASV5 までにおける基本理念

ドライバー支援の原則

安全な運転をすべき主体者はドライバーであり、
ASV技術はドライバーを側面から支援



ドライバー受容性の確保

ドライバーが安心して使えること



社会受容性の確保

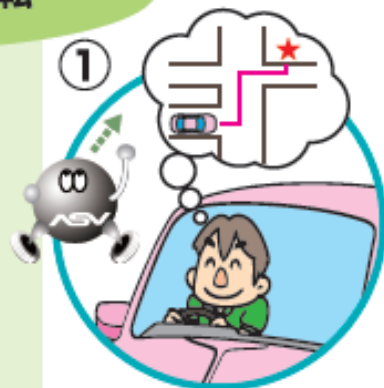
社会から受け入れられること



ASV5 までにおける運転支援の考え方

システムの作動

ドライバーの運転



①意思の疎通

ドライバーの意思や意図に添った支援を行うこと

②安全運転（安定的作動）

システムは安全な運転となる支援を行うこと

③作動内容を確認（監視義務）

ドライバーがシステムの作動内容を確認できること

④過信を招かない

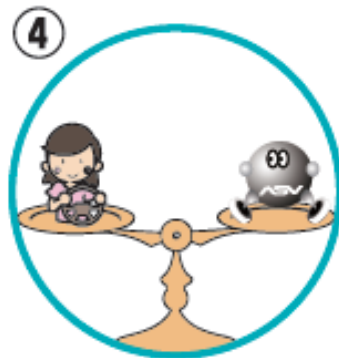
ドライバーの過信を招かないように配慮した設計をすること

⑤強制介入可能

システムが行う制御にドライバーが強制介入できること

⑥円滑な移行

システムの支援範囲を超えたときに、ドライバーへの運転操作の切り替えが円滑にできること

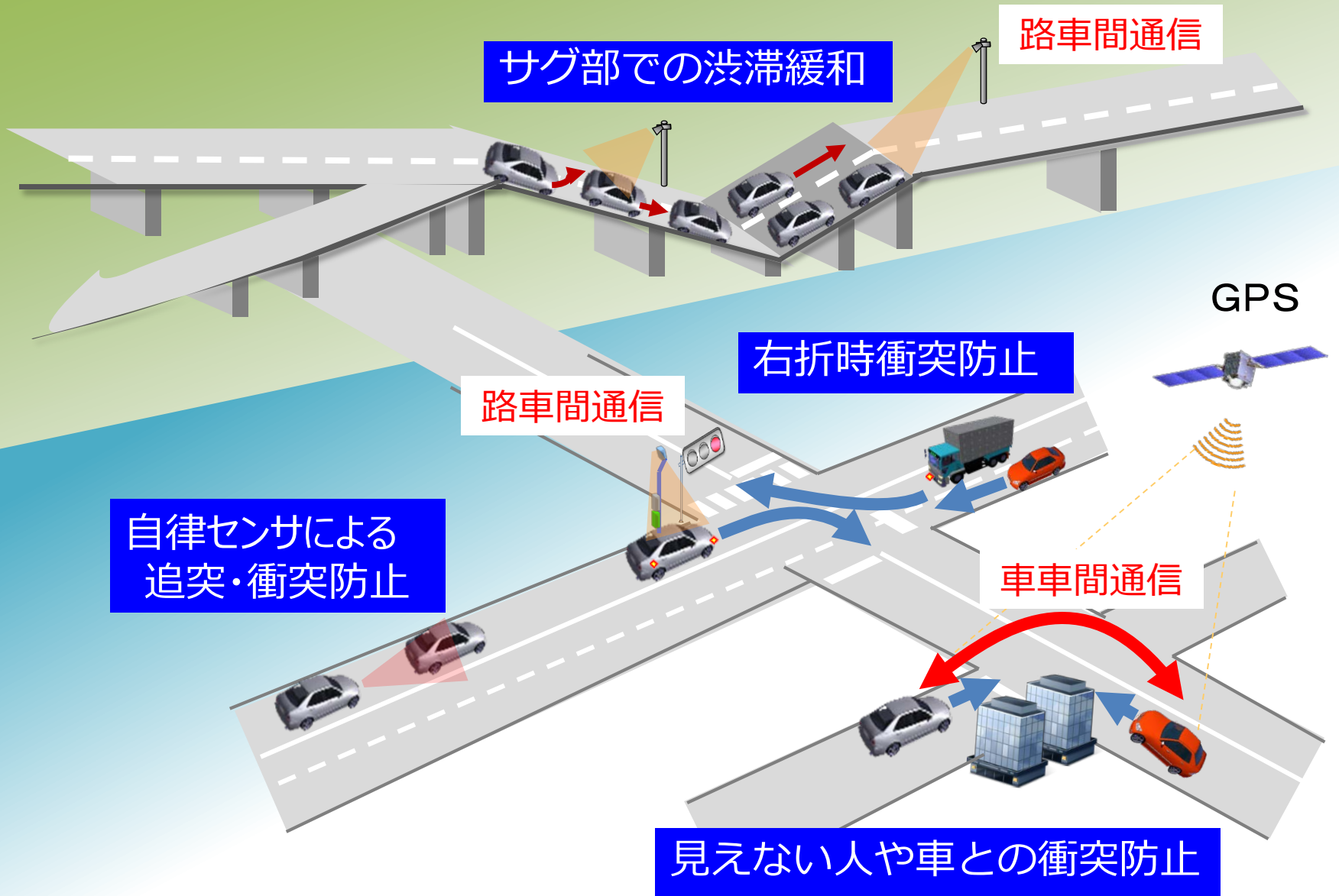


⑦ 安全性が後退しない

⑧ 社会に受け入れられる素地の形成

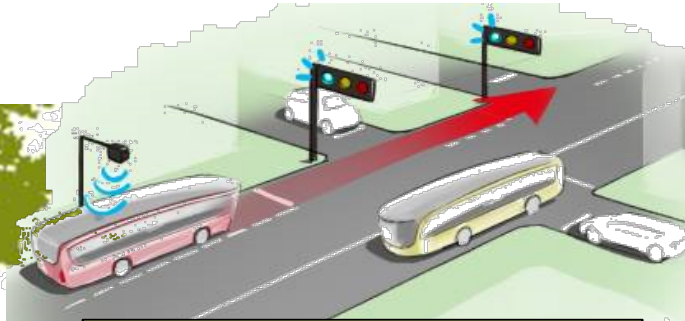
社 会

自動運転による交通事故・渋滞の軽減

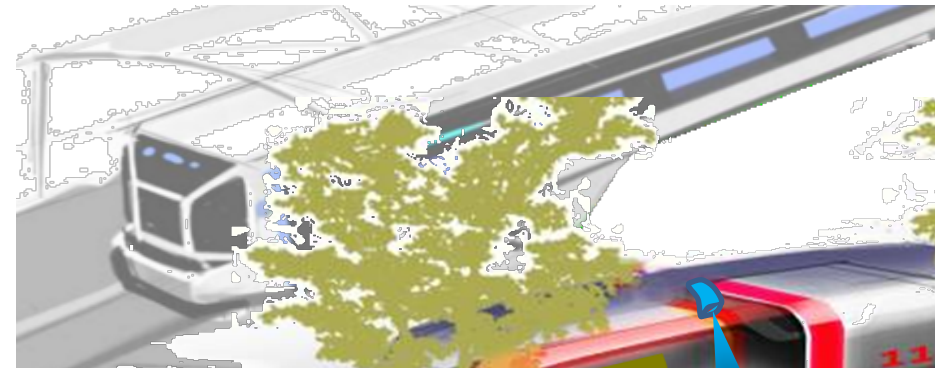


自動運転を活用した次世代都市交通

スムーズな加減速、乗客転倒防止



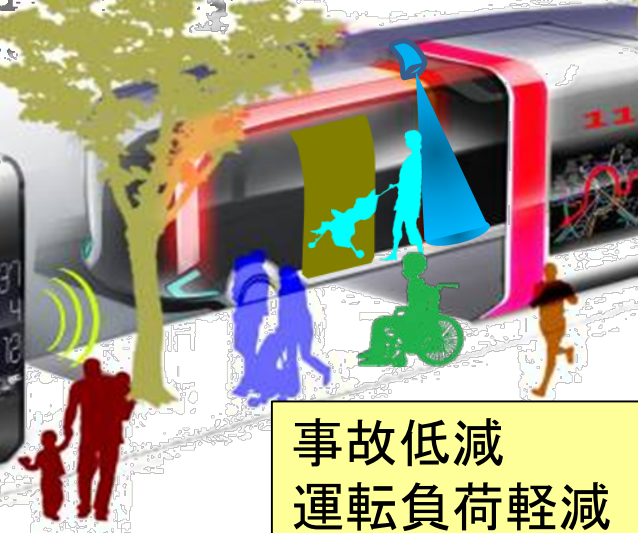
統合的・有機的な運行



交通流整流、定時運行



事故低減
運転負荷軽減



乗降時間短縮
乗降安全性向上



ひとくちに「自動運転」といっても、形態は多種多様



Photo: BMW



Phot: Volvo



Photo: Zoox

自動運転レベル (Levels of Driving Automation)

ドライバーは動的運転タスクの一部を担当（環境及びシステムの監視ならびに必要な応じての介入はドライバーの役目）

1	Driver Assistance	特定の運行設計領域においてシステムは縦方向又は横方向のいずれか一方の車両運動制御を担当。ドライバーは動的運転タスクの残余分を担当。
2	Partial Driving Automation	特定の運行設計領域においてシステムは縦方向及び横方向の車両運動制御を担当。ドライバーは動的運転タスクの残余分と監視制御を担当。

システムは動的運転タスクのすべてを担当

3	Conditional Driving Automation	特定の運行設計領域においてシステムが全ての動的運転タスクを担当。作動継続が困難なとき、システムは十分な時間余裕をもってドライバーに運転交代を要請。ドライバーはその要請に適切に対応すること。
4	High Driving Automation	特定の運行設計領域においてシステムが全ての動的運転タスクを担当。作動継続が困難なときも、システム自身で適切に対応。
5	Full Driving Automation	運行設計領域に限定されることなく 、システムが全ての動的運転タスクを担当。作動継続が困難なときも、システム自身で適切に対応。

レベル2の自動運転

システム： 縦方向と横方向の車両運動制御を担当。

ドライバー： 動的運転タスク残余分と監視制御を担当。



Photo: BMW

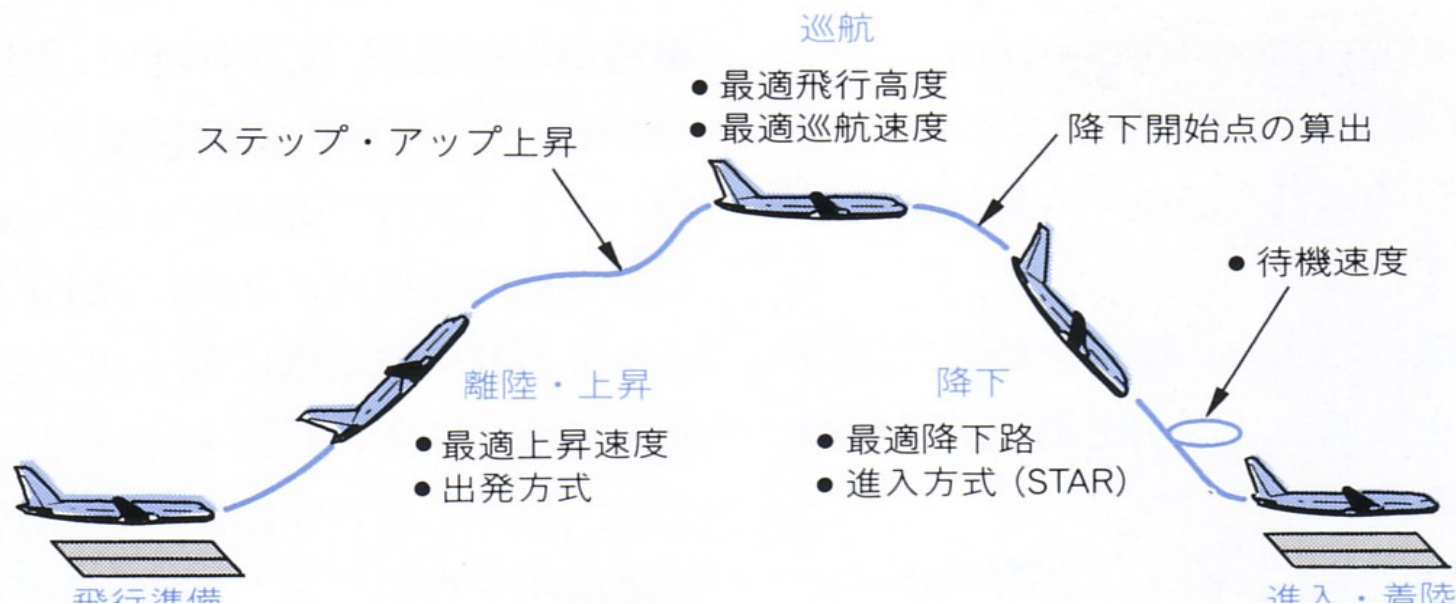
【監視制御 (supervisory control)】

- 人が何をなすべきかを決め、システムに指示
- システムは、人の指示に沿って制御を実行
- 人は、システムによる制御が適切かどうかを**継続的に監視**。場合に応じて**適時に介入**

システムの動作原理、能力限界、サブシステム間の相互干渉等に関する正確な理解が必要

← HMI のデザインが鍵

航空機の自動化はレベル2の自動運転と同等



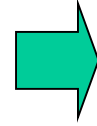
年間飛行時間 800-900時間の国際線パイロットの場合、
手動操縦は 3時間程度

パイロットは安全運航の責任を負い、
システム状態と飛行環境を監視

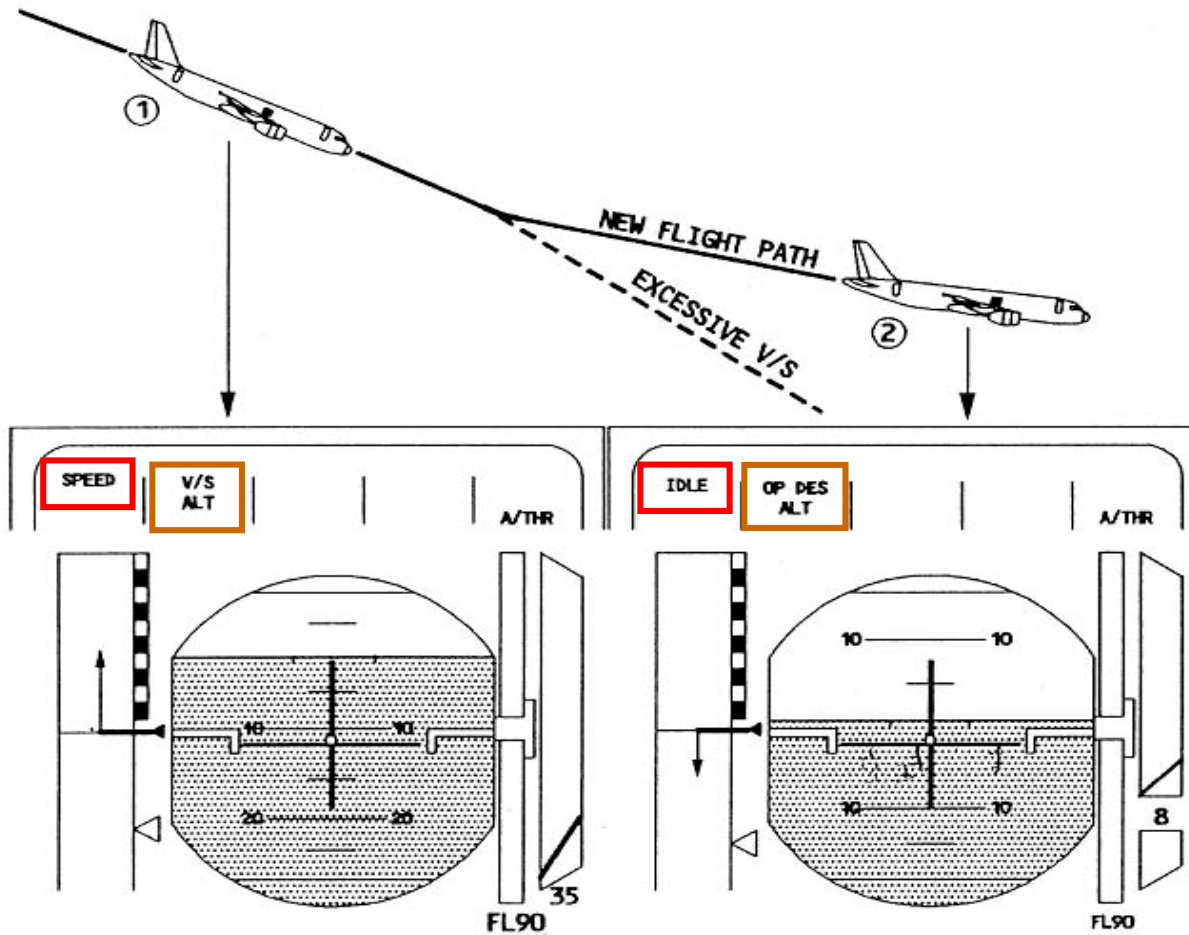
航空機における賢い機械がもたらす光と影

賢い機械

- 状況センシング
- 状況理解
- 何をなすべきかを決定し、実行



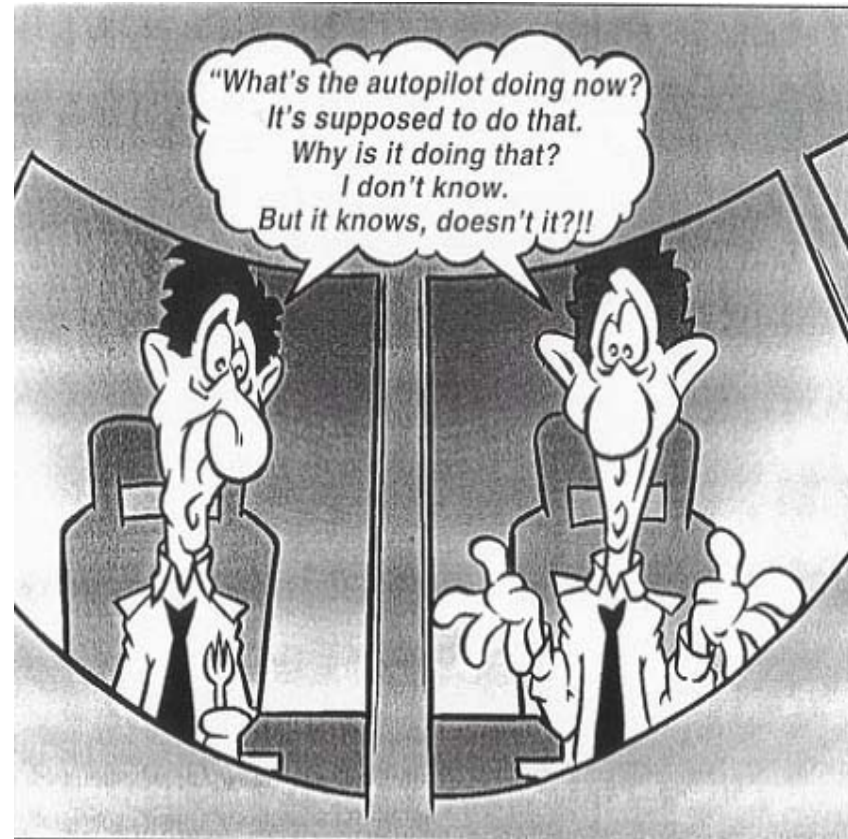
状況認識の喪失
機械への過信と不信の交錯
オートメーションサプライズ



機械の状況判断・意図が分からないまま、機械を信頼

オートパイロットが
なぜこんなことをするのか
私にはわからない。

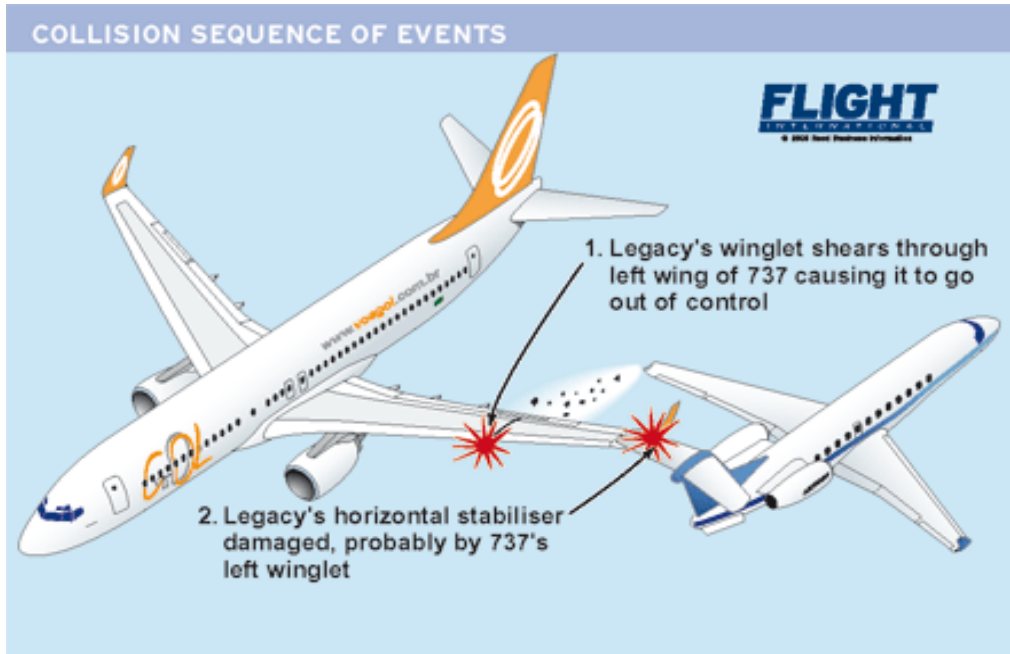
でも、オートパイロットは
わかったうえで
やっているのだろう。



(FAA 1995)

- 定期的なシステム機能・原理等の教育と使用法の訓練を受けるパイロットですら高度自動化システムを持て余す、となると...
- 自動運転車の免許制度(教育・訓練)はどのようにすべき?

空中衝突防止装置は作動していると思っていたが・・・



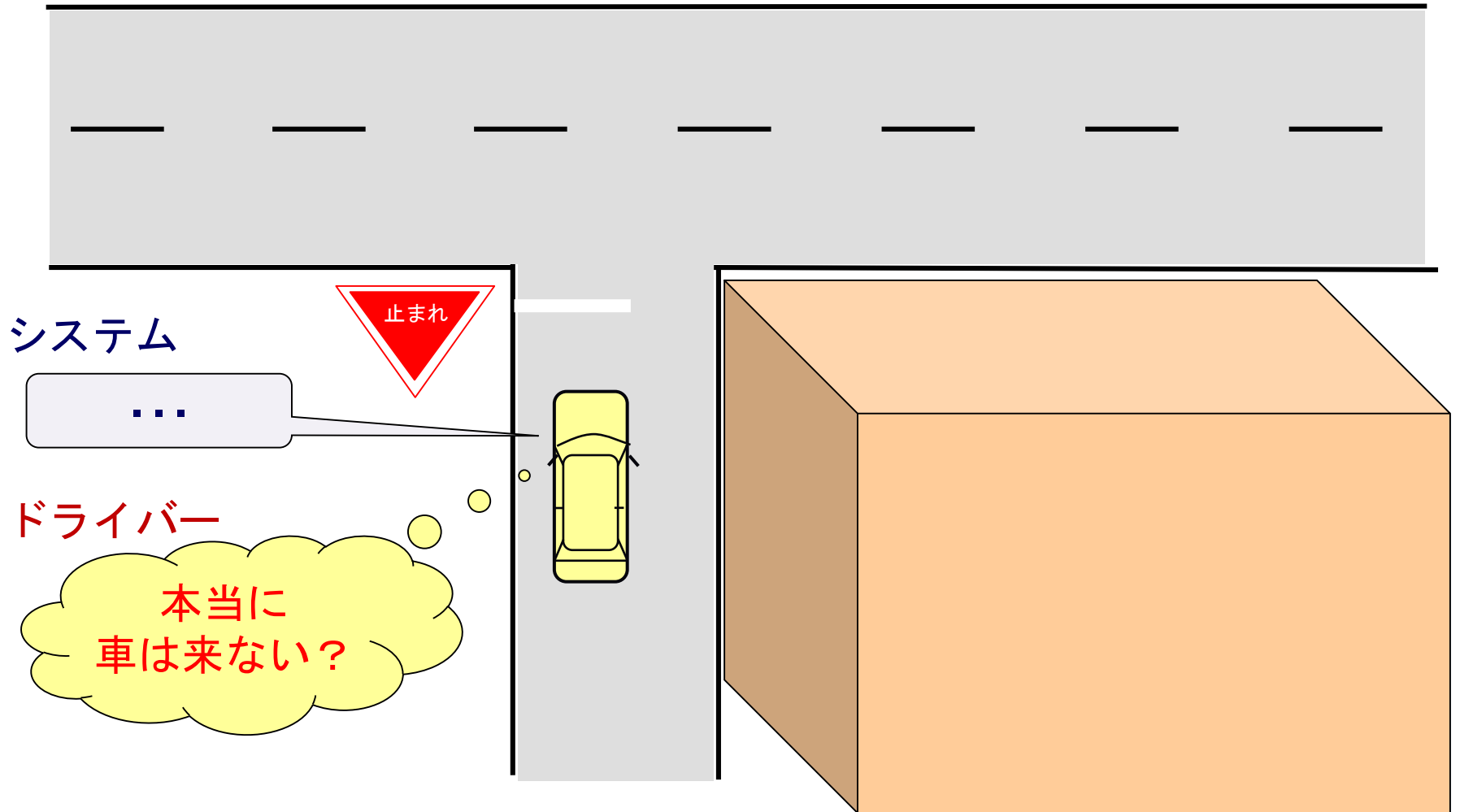
2006年9月、Boeing 737 と Embraer Legacy が アマゾン上空で衝突

(Flight International, 6 December 2008)

- Legacy のトランスポンダーは standby モード(送受信機能喪失)
- 「TCAS OFF」は表示されたが、目立たない白字表示
- Boeing 737 と Legacy に搭載されていた TCAS は、いずれも相手機を知る事ができない状態

➡ TCAS 警報が発せられないまま、2機が衝突

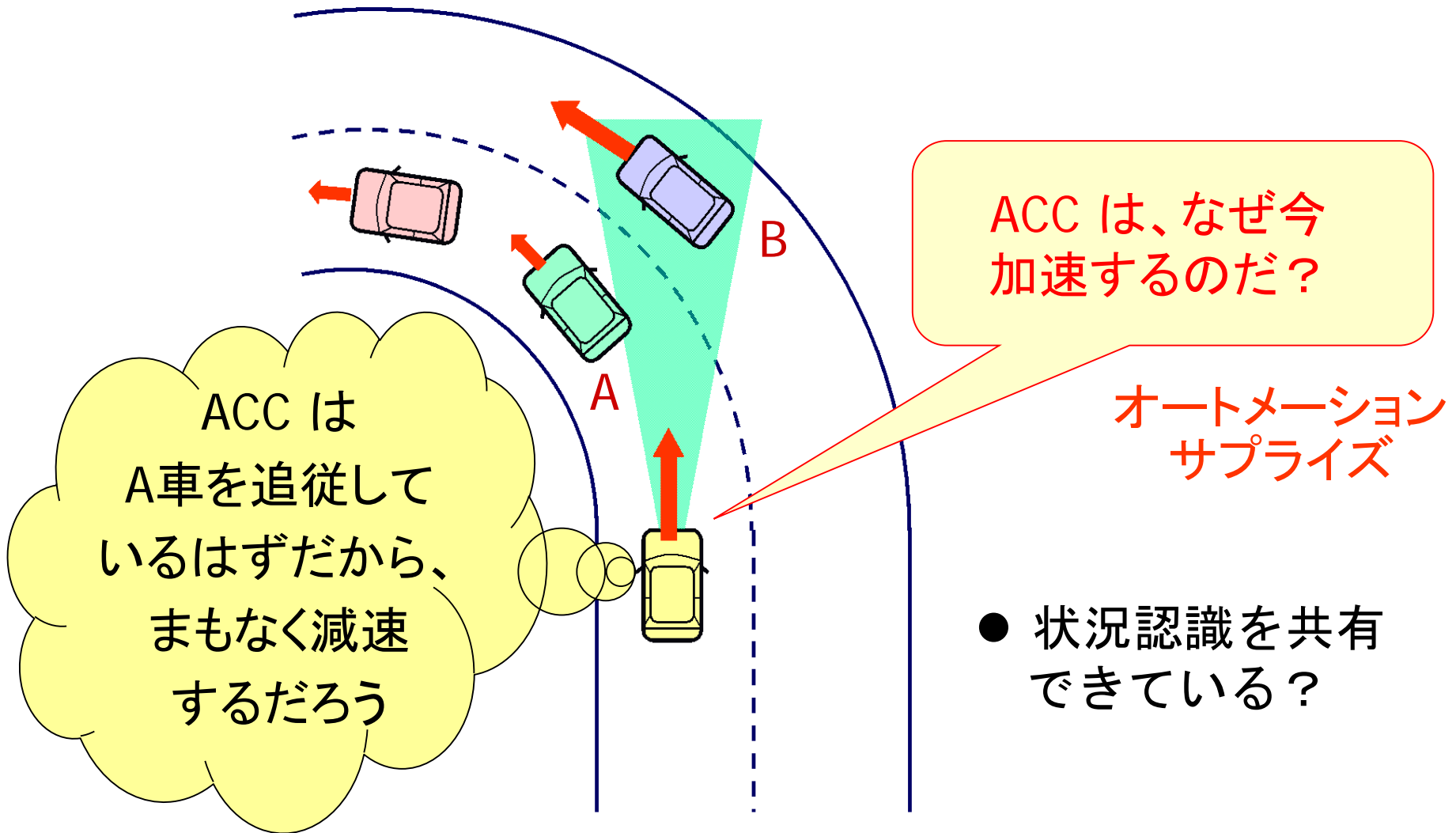
注意喚起も警報も出ていないから大丈夫？



- システムは作動している？
していない？

(Inagaki 2010; 稲垣 2012)

人が見ているもの ≠ 機械が見ているもの



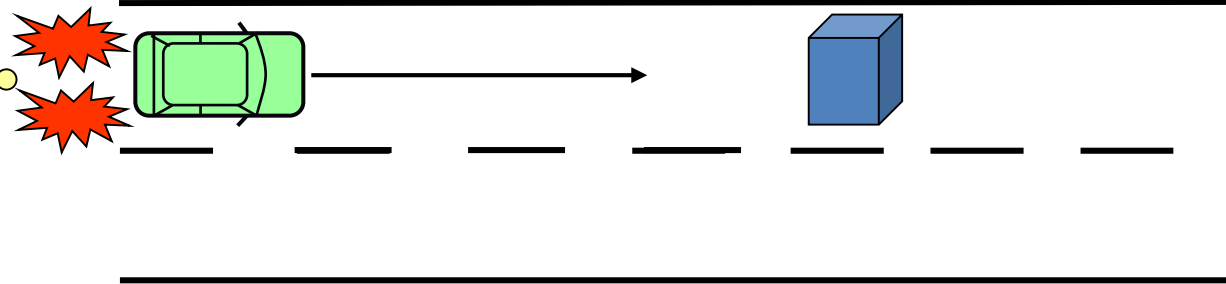
実は、ACCが見ているのはB車

(Inagaki 2010; 稲垣 2012)

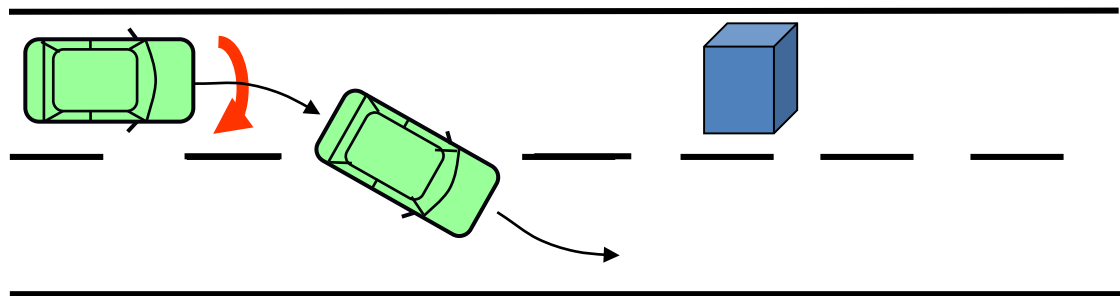
「人が見ているもの = 機械が見ているもの」だが...

両者で「ものの考え方」が違くと、オートメーション・サプライズ

制動で衝突
回避しよう

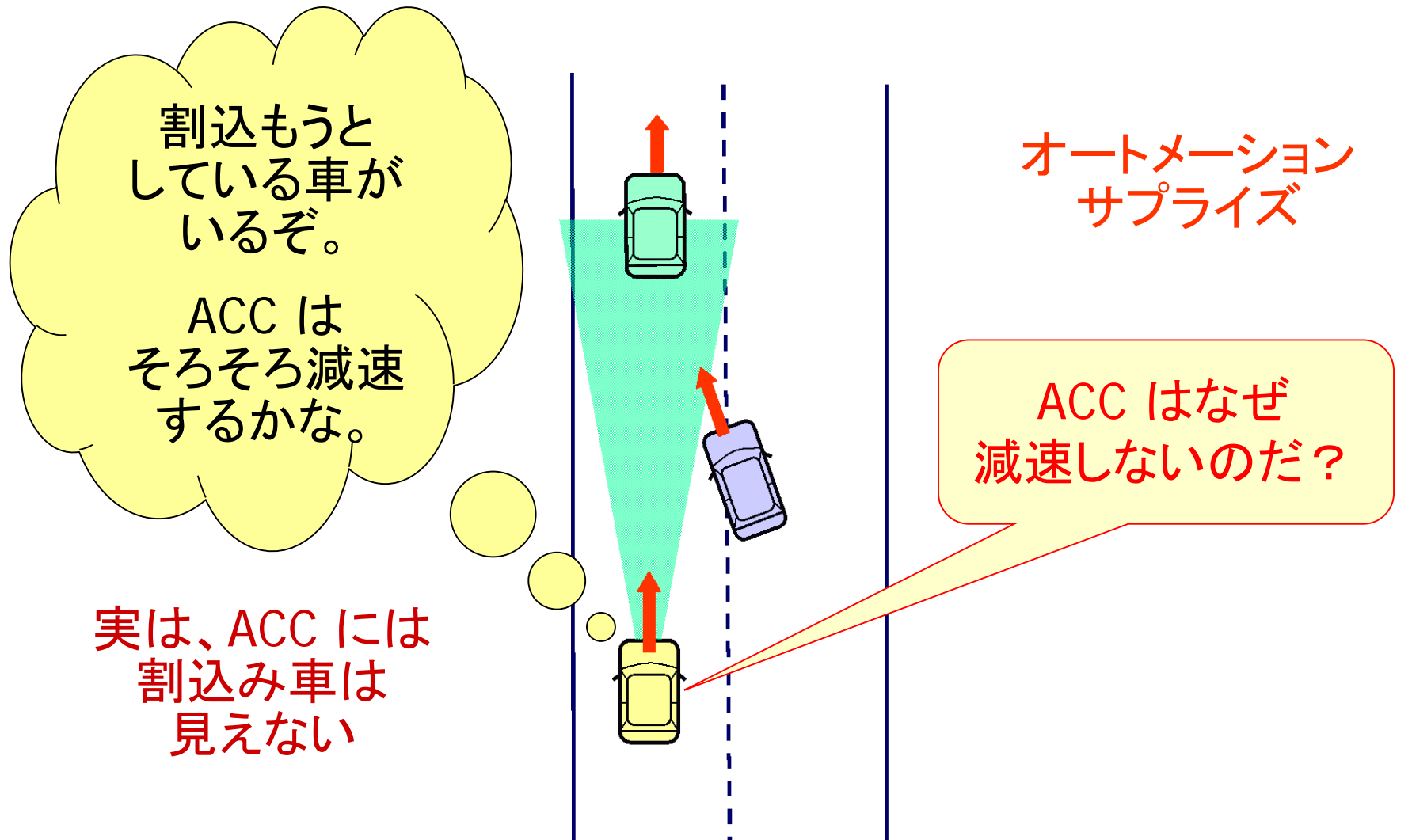


操舵で衝突
回避しよう



- これから何をしようと考えている？
(意図)

機械の能力限界が分からないと...



- 能力限界はどこにある？

(Inagaki 2010; 稲垣 2012)

レベル3の自動運転

システム： 走行環境の監視を含め、全ての動的運転タスクを担当。
作動継続が困難なとき、十分な時間余裕をもって
ドライバーに運転交代を要請。

ドライバー： システムの要請に適切に対応すること。



Photo: Volvo

Photo: Volvo

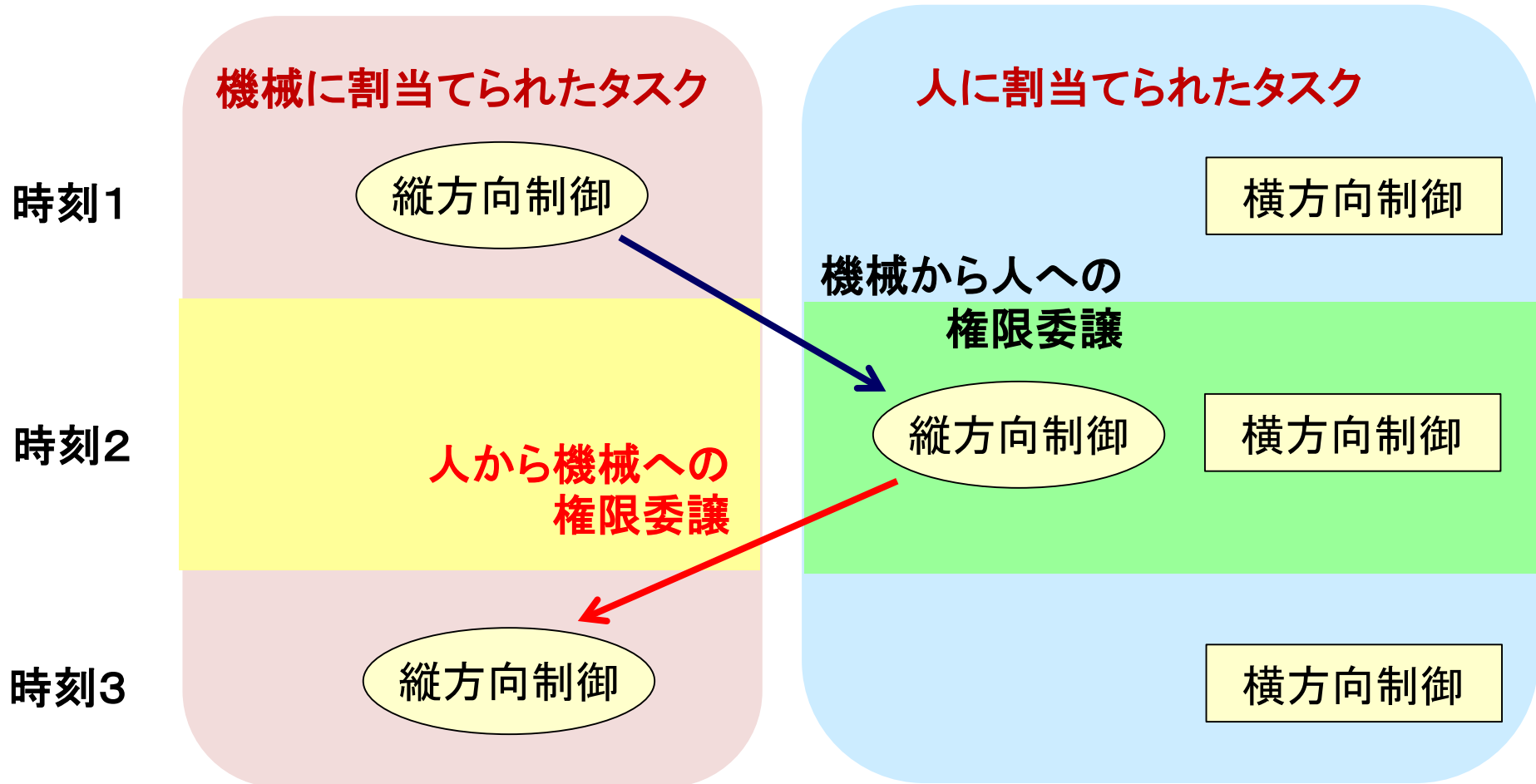
- 「十分な時間余裕」とはどれくらい？
- 運転交代を要請して一定時間経過後システムは機能停止してよい？
- レベル3の自動運転の狙いは何？

- 「システムの手に残るときは、人に対応させよう」という設計思想は妥当？
- ドライバーは、**結果予見義務**／**結果回避義務**（過失責任）から解放されている？

運転主体の交代: 権限委譲(trading of authority)

(1) 誰から誰への権限委譲?

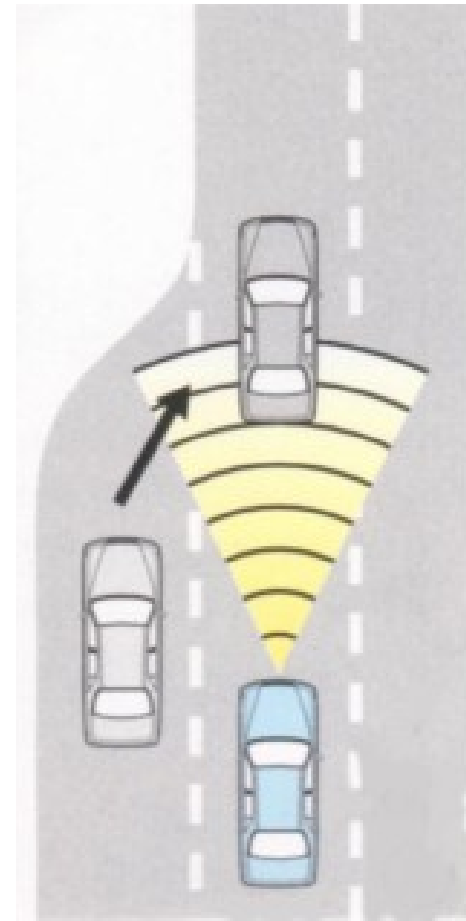
(2) 権限委譲の要否と実行タイミングを決定するのは誰?



人の判断による権限委譲

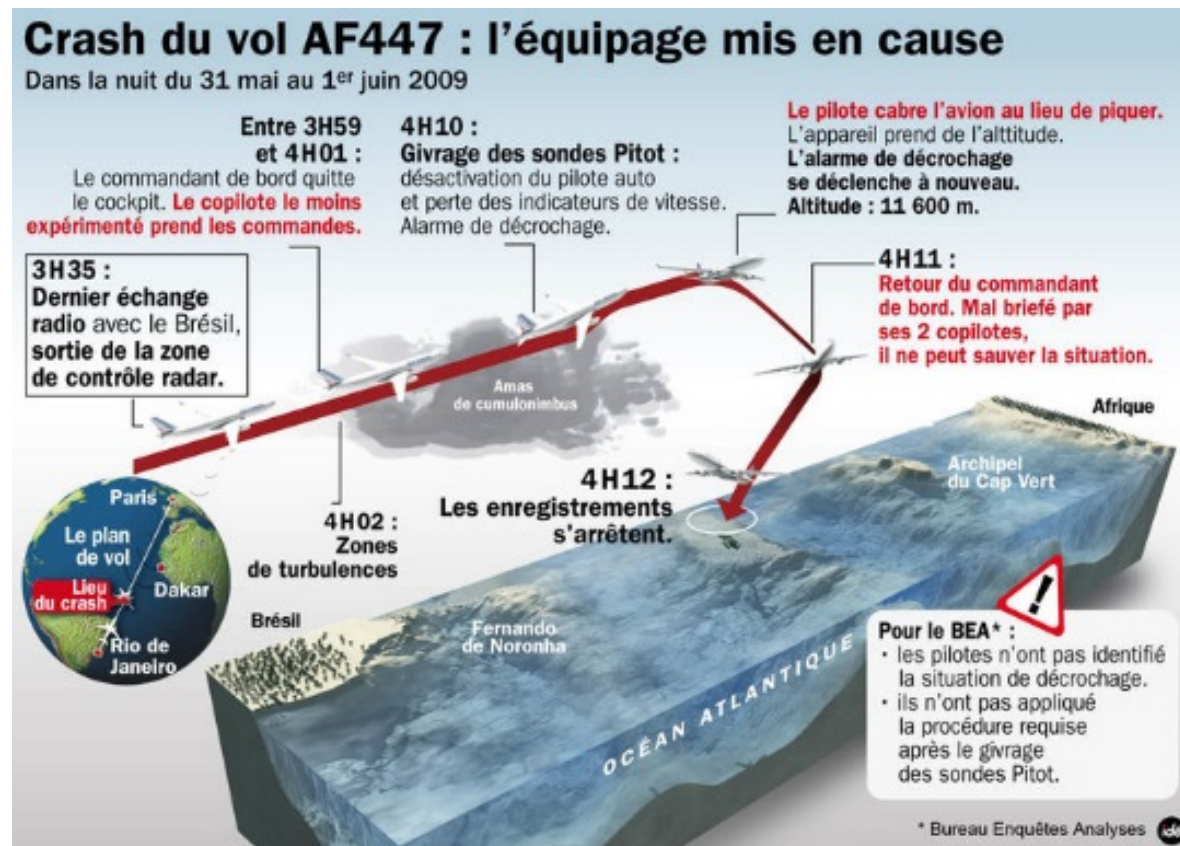
(例) 離陸時は人間が操縦。
機体が安定すると、コンピュータに操縦を委任。
必要に応じてオートパイロットを解除して、
人が操縦。

(例) ACC で走行中、割り込みの気配を示す車に
気づく。いったん ACC を解除し、割り込み車
との間隔を適切にした後、再び ACC を
エンゲージ。



機械の判断による、機械から人への権限委譲は成功するとは限らない！

高高度を飛行中に対気速度に矛盾が生じ、オートパイロット解除。
その後のパイロットの操作が不適切であったため異常姿勢に陥り、墜落。



運転交代要請(RTI)を発して機械から人へ権限委譲

ドライバー：運転操作は行わず、走行環境の監視もしていない。
システムから運転交代を求められたとき、
瞬時に状況を見極め、適切に車両を制御できる？



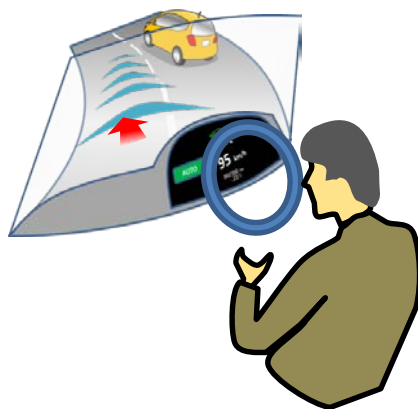
Photo: Volvo

運転を交代
してください

RTI
(request to intervene)



RTI に対して適切に
対応してくれれば
よいのだが . . .



RTI を発しても
ドライバーが対応して
くれなかったら . . .

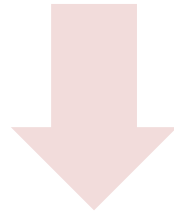
運転交代要請 (RTI) メッセージのデザイン

SAE J3016 「運転を交代してください」

所定の時間が経過した時点で、システムは自動走行モードを解除

事故発生リスクを最小にする RTI

運転を交代してください。運転が引継がれたことが確認でき次第、自動走行モードを解除します



所定時間の経過後も、運転者が運転を引継いだことが確認できないなら・・・

システムは「権限委譲は不可能」と判断し、自身の機能範囲内で車両停止へ向けて制御を実行

J3016 におけるレベル3 の定義は妥当ではない

【定義改訂案】

特定の運行設計領域においてシステムがすべての動的運転タスクを担当。作動継続が困難なとき、システムは十分な時間余裕を持ってドライバーに運転交代を要請。

ドライバーがシステムの要請に対応しないときは、システムが車両を最少リスク状態に誘導

ミニマム・リスク・マヌーバ

【現在の定義】(SAE J3016)

特定の運行設計領域においてシステムがすべての動的運転タスクを担当。作動継続が困難なとき、システムは十分な時間余裕を持ってドライバーに運転交代を要請。

ドライバーはその要請に適切に対応すること。

「自動運転車の安全技術ガイドライン」(国交省自動車局 2018.09)

レベル4の自動運転 (High Driving Automation)

システム： 全ての動的運転タスクを担当。
作動継続が困難なときも、システム自身で適切に対応。



Photo: Volvo

- 「システムだけで対応できる」とは、「ドライバーに関与させない」こと？
- 何が起きているか、システムがどのように対応しようとしているか等はドライバーに知らせる？ 知らせない？

【移動サービスへの応用可能性】

- 道路交通に関する条約(ジュネーブ条約)との整合性を図ったうえで、限定的な地域において無人自動運転移動サービスを実現させれば、高齢者のモビリティ向上へ・・・

レベル4の自動運転による移動サービス

ラストマイル自動運転

①【市街地モデル】石川県輪島市
(小型カート利用) 2017.12~



②【過疎地モデル】福井県永平寺町
(小型カート利用)



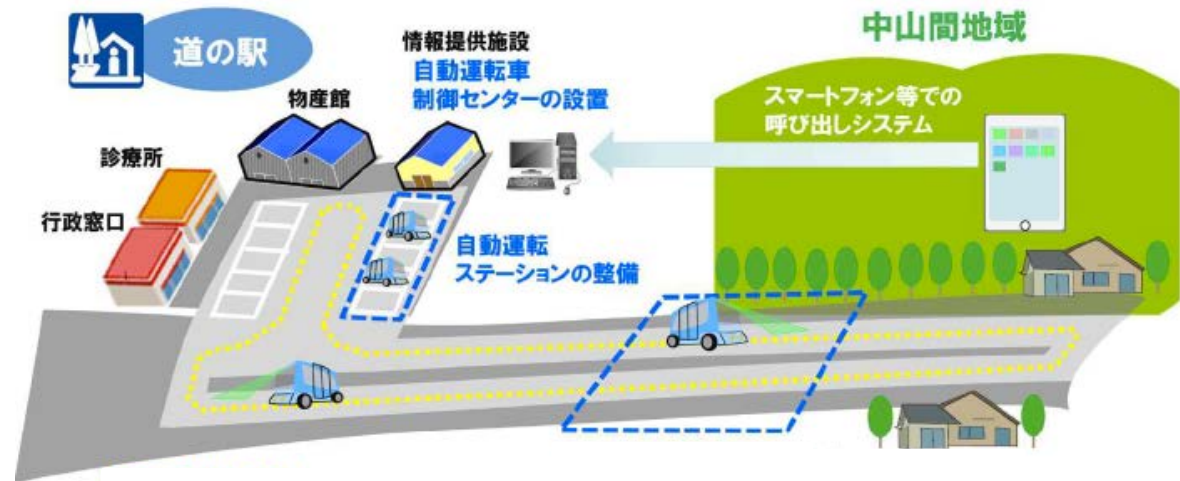
③【観光地モデル】沖縄県北谷町^{ちやたん}
(小型カート利用)



④【コミュニティバス】茨城県日立市
(小型バス利用)



中山間地域における
道の駅を拠点とした
自動運転サービス



写真・図の出典： 国交省

- 運航設計領域 (ODD: operational design domain) の適切な設定に基づく個別具体的議論が肝要

自動運転における人と機械の協調と共生(1)



Photo: BMW



Photo: Volvo



Photo: Zoox

- 自動運転レベルが高いものが「レベルが高い」のではない
- 自動運転レベルではなく、モードと呼ぶべきではなかったか
- 監視制御は、楽な仕事ではない
- 高機能なシステムの動作原理や能力限界を知らないと、システムを正しく監視することはできない
- 権限の的確な引継ぎには、瞬時の状況判断力が不可欠
- ドライバーの役割と責任を社会やドライバーが認識すべし

自動運転における人と機械の協調と共生(2)

HMI が提供すべきもの (稲垣 2012)

- 機械と状況認識を共有できる手がかり
- 機械の判断の根拠が分かる手がかり
- 機械の意図が分かる手がかり
- 機械の能力限界を知る手がかり
- 機械の作動状態が分かる手がかり



- 不適切な信頼(不信／過信)の低減
- 過信に基づく依存(過度の依存)の低減
- モード認識喪失やオートメーションサプライズの低減

HMI について今後検討すべきもの(私見)

- 自然な形でドライバーモニタリングを可能にするもの
- 人と協働で車外道路利用者とコミュニケーションできるもの

参考文献

稲垣 (2012). 人と機械の共生のデザイン, 森北出版.

Inagaki, T. (2003). Adaptive automation: Sharing and trading of control. In E. Hollnagel (Ed.), Handbook of Cognitive Task Design, Chapter 8 (pp. 147-169), Lawrence Erlbaum Associates.

Inagaki, T. (2010). Traffic systems as joint cognitive systems: Issues to be solved for realizing human-technology coagency, Cogn. Tech. & Work, 12(2), 153-162.

Inagaki, T. & Sheridan, T. (2012). Authority and responsibility in human-machine systems: Probability theoretic validation of machine-initiated trading of authority. Cognition, Technology & Work, 14(1), 29-37.

Inagaki, T. & Sheridan, T. (2018). A critique of the SAE conditional driving automation definition, and an analyses of options for improvement. Cognition, Technology & Work. DOI: 10.1007/s10111-018-0471-5.

国土交通省自動車局 (2018). 自動運転車の安全技術ガイドライン.

SAE (2018). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Surface Vehicle Recommended Practice, J3016.