



University of Tsukuba
筑波大学

TFOS年次シンポジウム
技術革新の人間のかかわりあい：自動化の行く末は？
2016年12月10日 東京海洋大学

自動車の自動運転とその課題

筑波大学副学長・理事
稲垣 敏之

inagaki.toshiyuki.gb@u.tsukuba.ac.jp
<http://www.css.risk.tsukuba.ac.jp>

高い知能と自律性を備えた機械がもたらす光と影

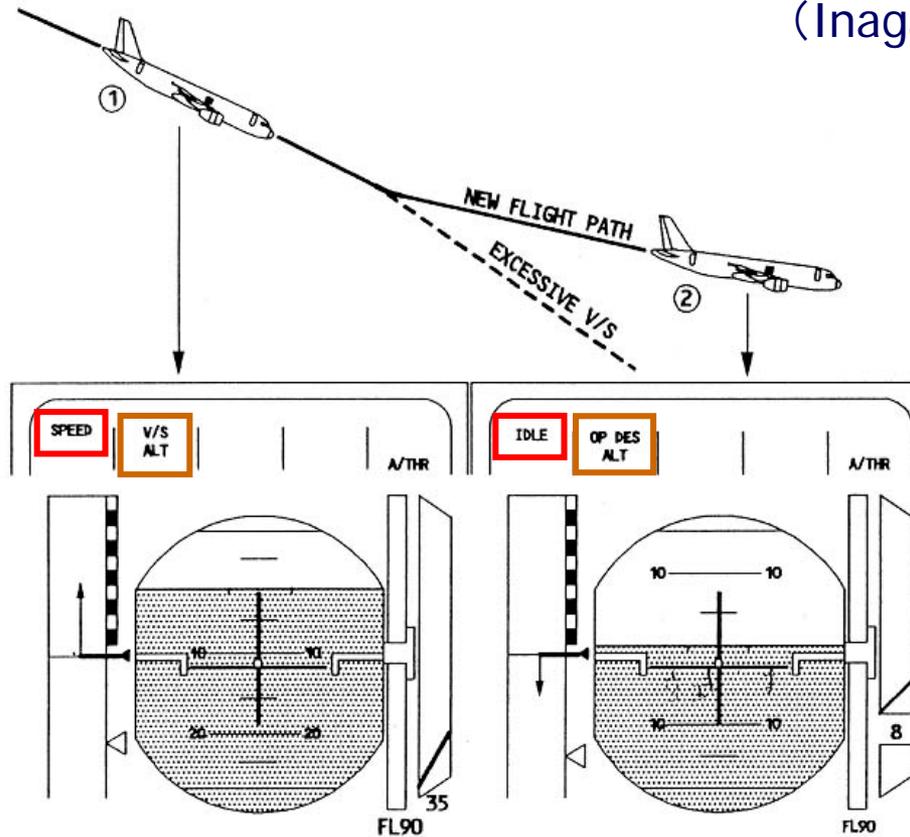
賢い機械

- 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

(Inagaki 2006; 稲垣 2012)



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（走行環境監視はドライバーの役目）

1	Driver Assistance	システムは縦方向制御／横方向制御のいずれか一方を担当。ドライバーは動的運転タスクの残余分すべてを担当。
2	Partial Driving Automation	システムは縦方向制御と横方向制御の両方を担当。ドライバーは動的運転タスクの残余分すべてを担当。

システムは動的運転タスクのすべてを担当

3	Conditional Driving Automation	システムは動的運転タスクのすべてを担当。ユーザーに運転交代を求めたいときは、時間余裕をもってユーザーに要請。ユーザーは、システムの要請に適切に対応すること。
4	High Driving Automation	システムは動的運転タスクのすべてを担当。システム／車両の故障が発生しても、想定作動環境内であれば、システムはユーザーの手助けを求めることなく適切に対応。
5	Full Driving Automation	あらゆる道路条件、走行環境条件下で、システムは動的運転タスクのすべてを担当。

(注) 自動化レベル(levels of automation)と混同しないようご注意を！

(SAE 2016)

レベル2の自動運転 (Partial Driving Automation)

システム： 縦方向制御と横方向制御の両方を担当。

ドライバー： 走行環境監視を含め、動的運転タスク残余分を担当。



Photo: BMW

監視制御

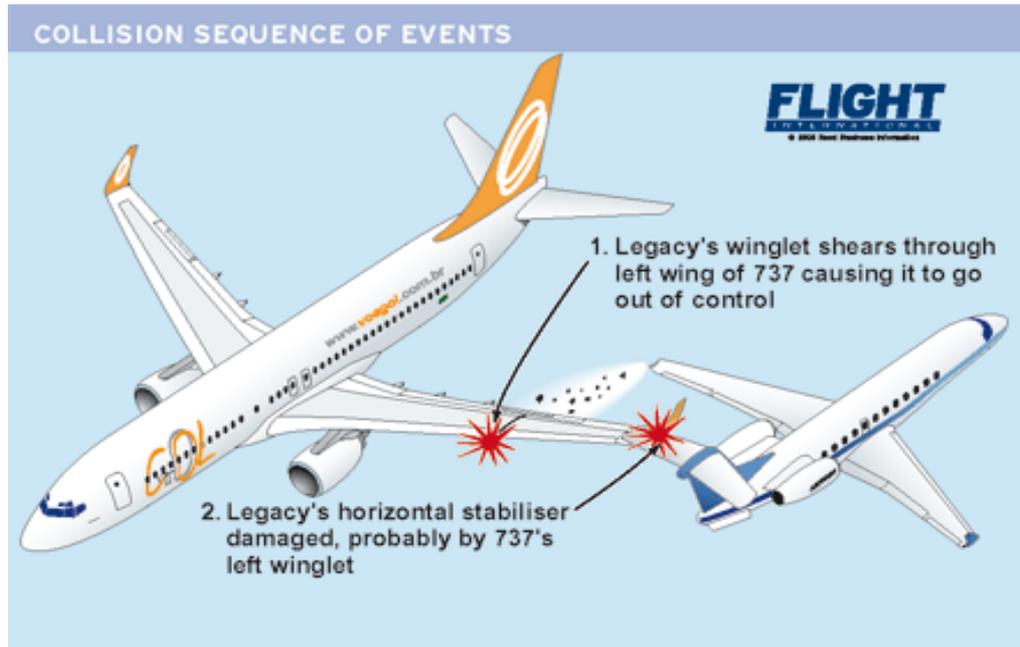
- 人が何をなすべきかを決め、システムに指示
- システムは、人の指示に沿って制御を実行
- 人は、システムによる制御が適切かどうかを継続的に監視

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



Human-Machine Interface (HMI) のデザインが鍵になる

システムの作動／不作動は明確に分かるか



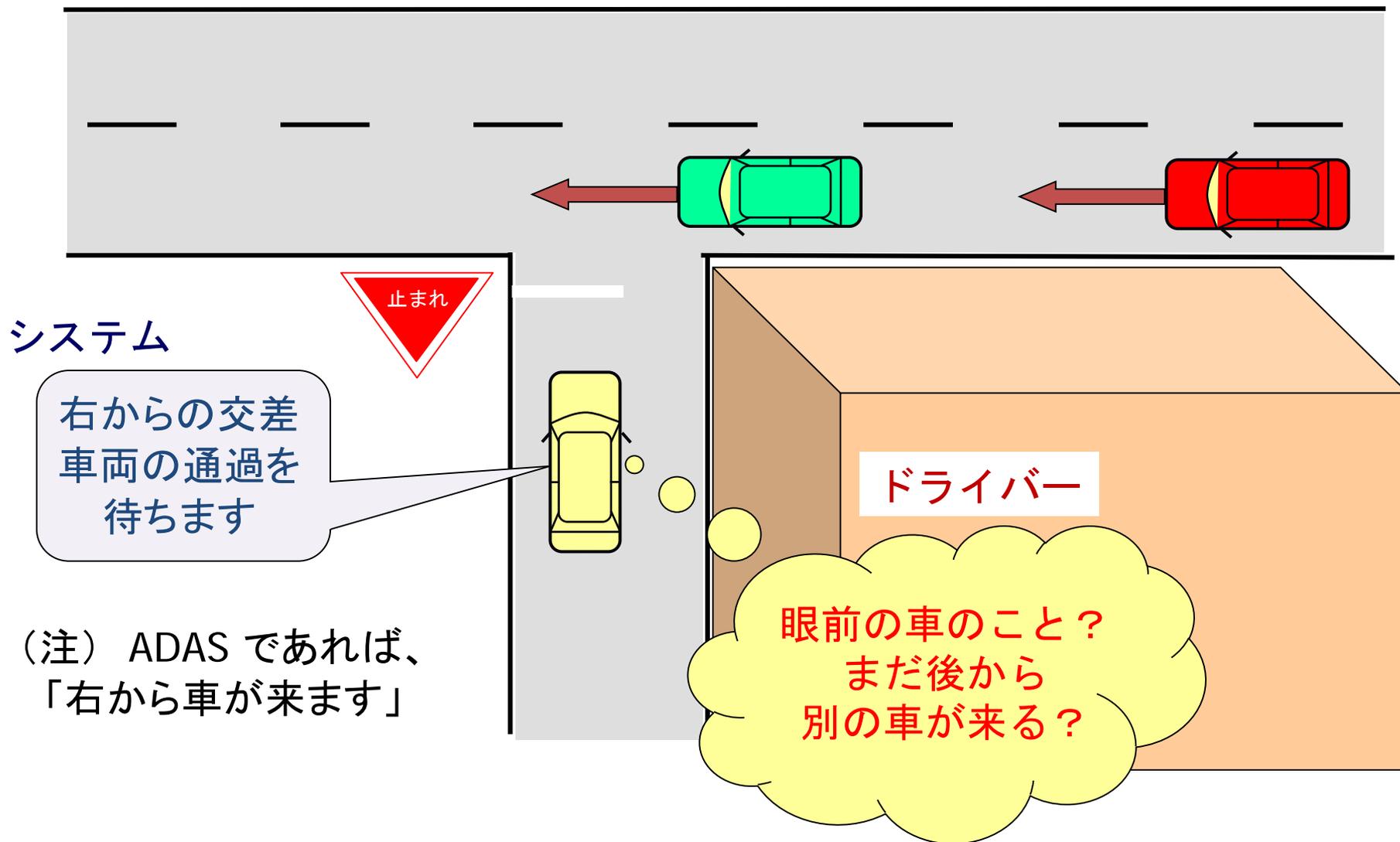
2006年9月、Boeing 737 と Embraer Legacy がアマゾン上空で衝突

(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、いずれも相手機の存在を知ることができない状態

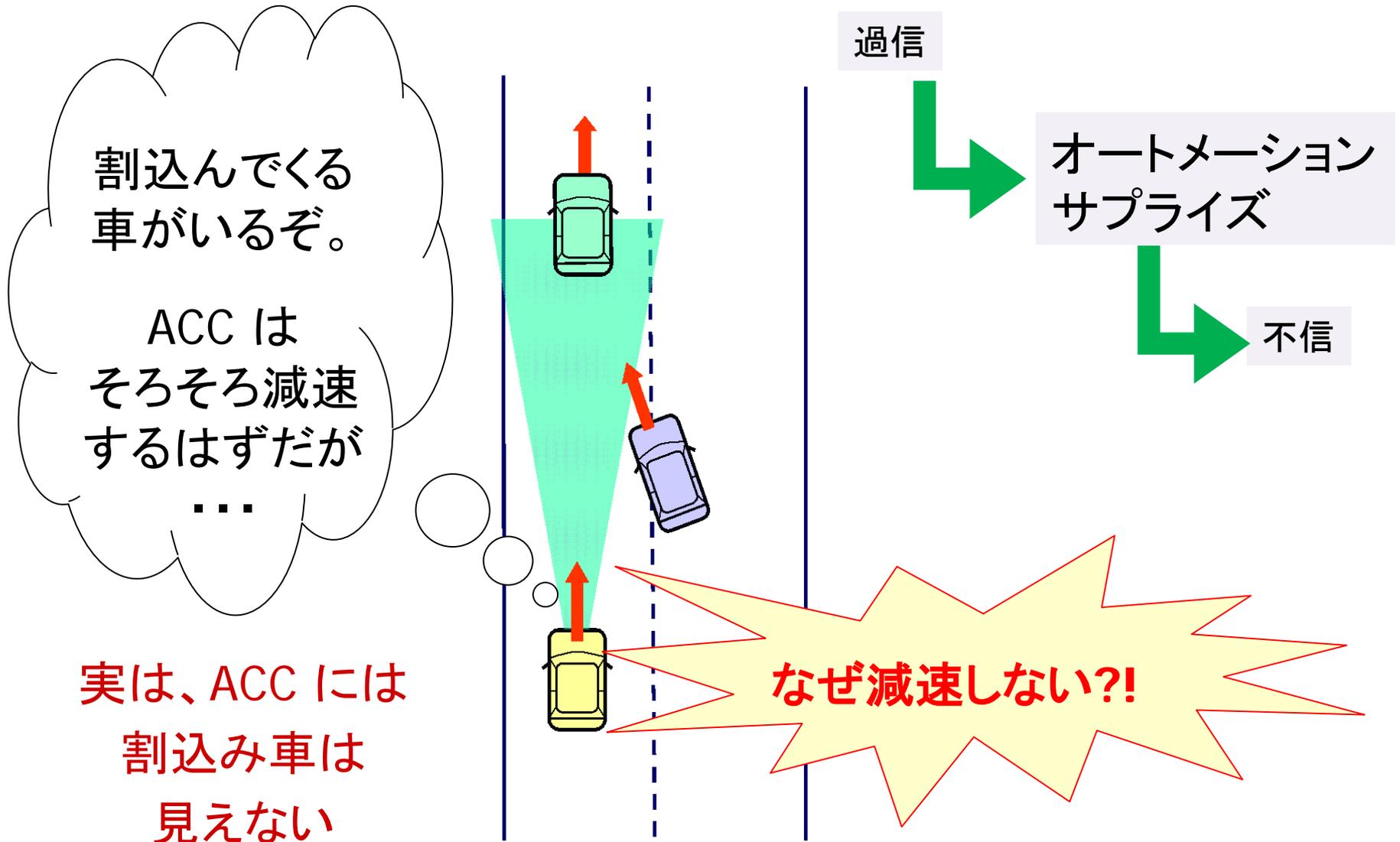
➡ TCAS 警報が発せられないまま、2機が衝突

システムの状況判断と意図は明確に分かるか



(注) ADAS であれば、「右から車が来ます」

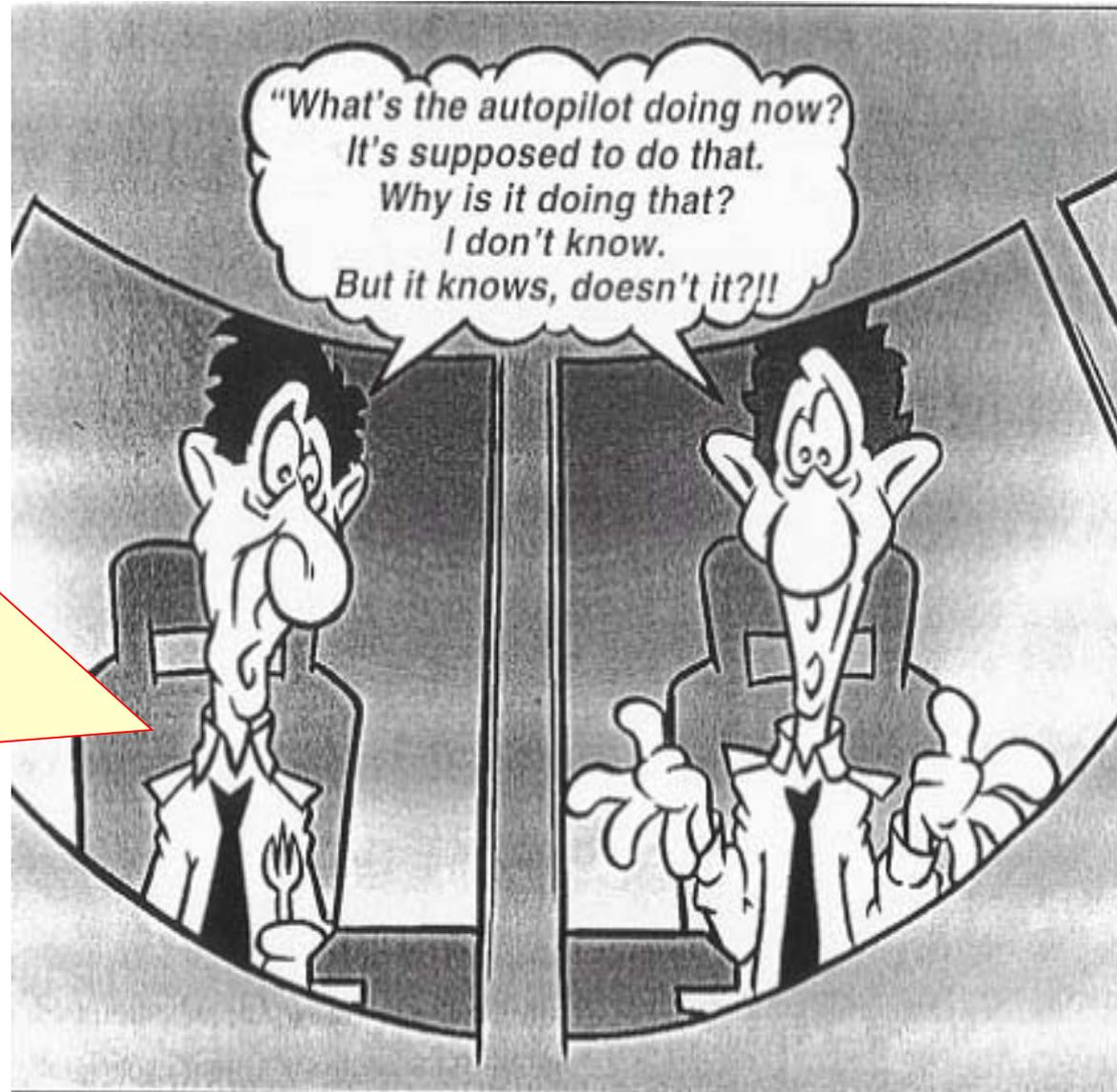
機械の能力限界は明確に分かるか



機械の意図、その意図の背景が明確に分かるか？

なぜ
オートパイロットが
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
やっているはず
だよな。



(FAA 1995)

レベル3の自動運転 (Conditional Driving Automation)

システム： 走行環境の監視を含め、すべての動的運転タスクを担当。ユーザーに運転交代を求めたいときは、時間余裕をもってユーザーに要請。

ユーザー： システムの要請に適切に対応すること。



Photo: Volvo

- 結果予見、結果回避の義務から解放されているのか？
- 過失責任を問われることもあるのか？
- システムの要請に適切に対応するよう人に求めるのは妥当か？

- 「いつでも運転交代要請に対応できるようにせよ」といわれて、仕事に集中／リラックスできる？ 何のための自動化？

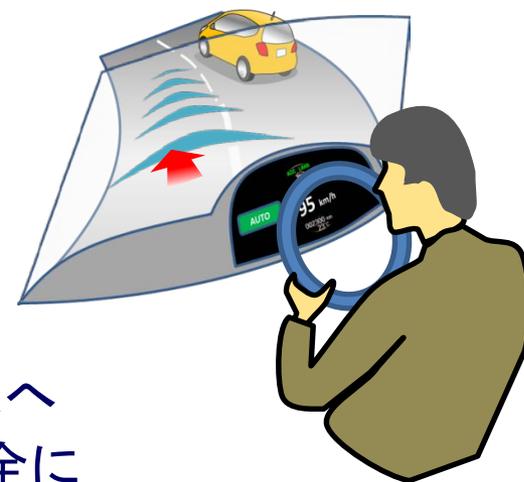
機械の判断による、機械から人への権限委譲

ユーザー：運転操作は行わず、走行環境の監視もしていない。
システムがユーザーに運転交代を求めたとき、
瞬時に状況を見極め、制御を引継がねばならない。

10秒後に自動走行モードを
解除します。
運転を交代してください

120 km/h なら 333 m

60 km/h なら 167 m

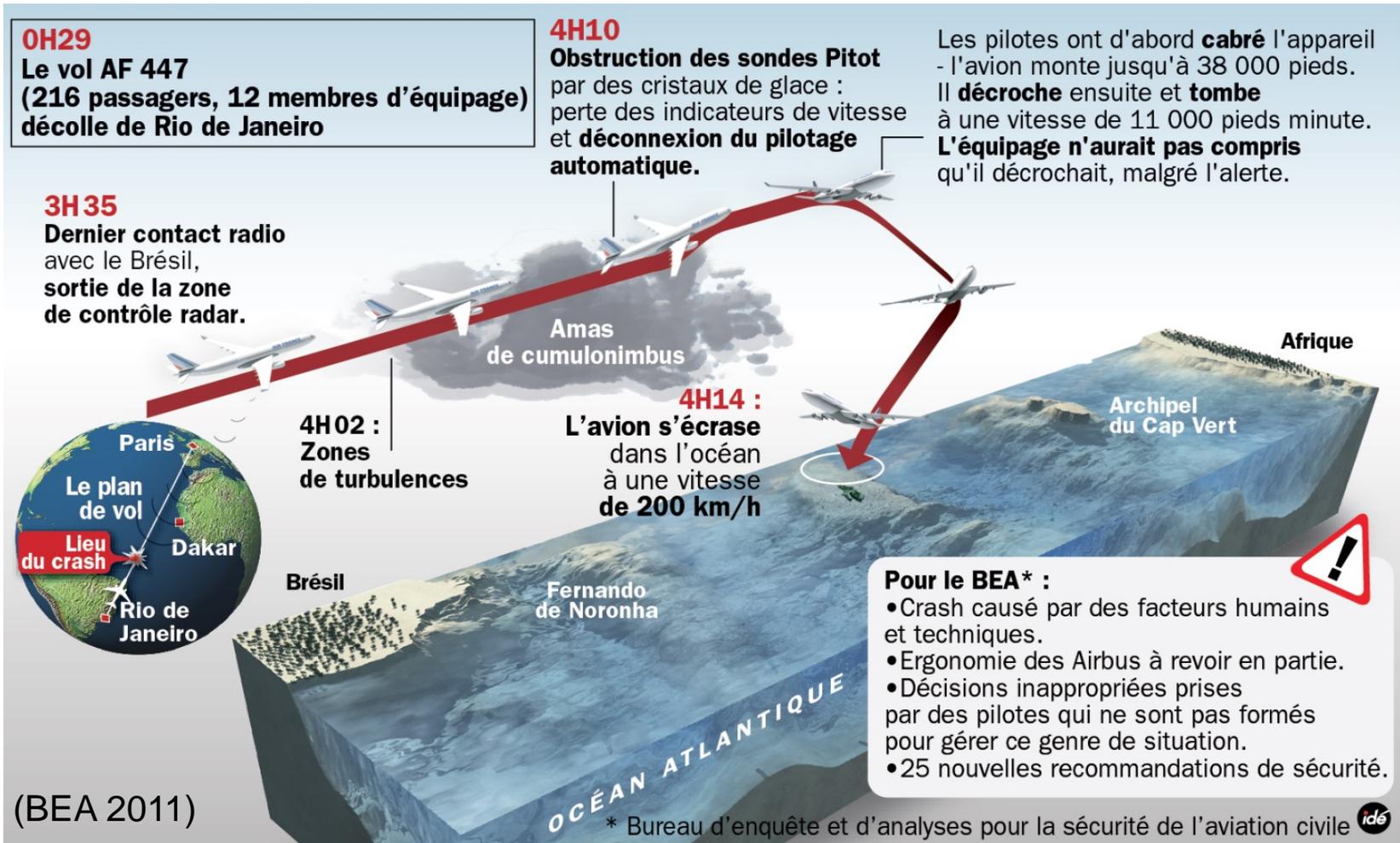


システムから人へ
権限を円滑・安全に
移行させたい

機械から人への権限委譲は成功するとは限らない

エールフランス447便 (A330-200) の墜落 (2009.06)

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。



自動化レベル (Levels of Automation: LOA)

人に最終決定権

- (1) コンピュータの支援なしに、すべてを人が決定・実行。
- (2) コンピュータはすべての選択肢を提示し、人はそのうちのひとつを選択して実行。
- (3) コンピュータは可能な選択肢をすべて人に提示するとともに、
ひとつを選んで提案。それを実行するか否かは、人が決定。
- (4) コンピュータは可能な選択肢の中からひとつを選び、それを人に提案。
それを実行するか否かは、人が決定。
- (5) コンピュータはひとつの案を人に提示。人が了承すれば、コンピュータが実行。

- (6) コンピュータはひとつの案を人に提示。
人が一定時間内に実行中止を指令しない限り、コンピュータはその案を実行。

(6.5) コンピュータはひとつの案を人に提示すると同時に、その案を実行。

- (7) コンピュータがすべてを行い、何を実行したか人に報告。
- (8) コンピュータがすべてを決定・実行。人に問われれば、何を実行したかを報告。
- (9) コンピュータがすべてを決定・実行。何を実行したかを人に報告するのは、
報告の必要性をコンピュータが認めたときのみ。

- (10) コンピュータがすべてを決定し、実行。

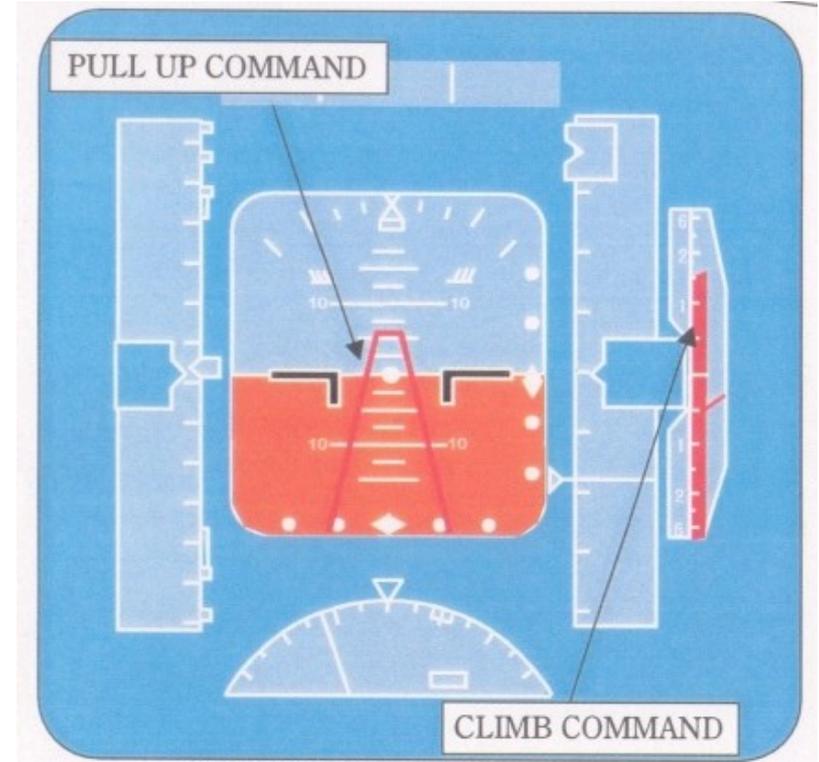
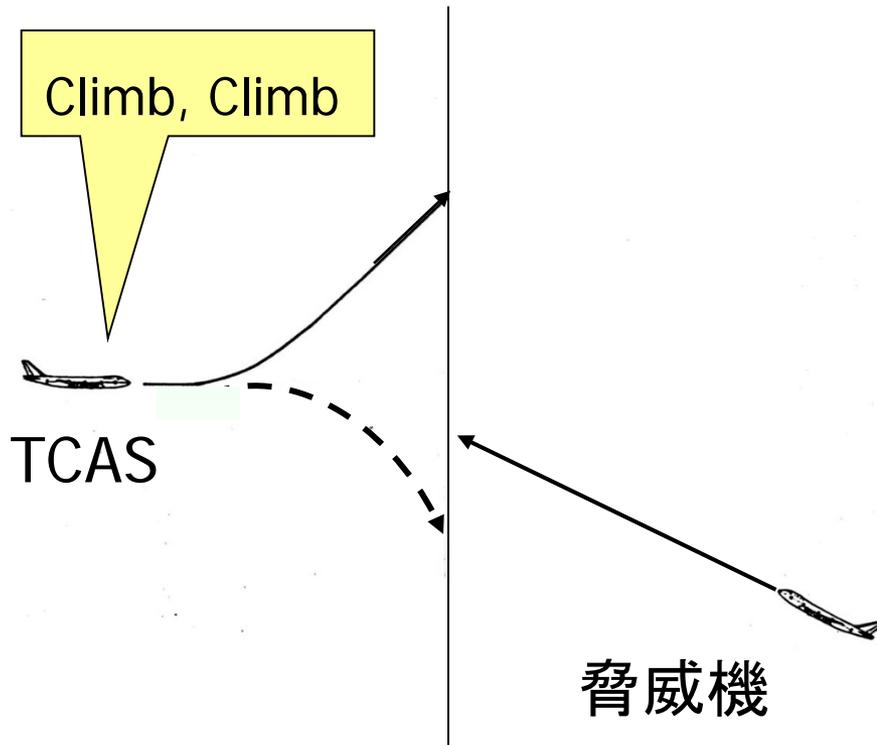
(Sheridan 1992; Inagaki et al. 1998)

機械に最終決定権

自動化レベル 4: TCAS

- (4) コンピュータは可能な選択肢のうちからひとつを選び、それを人間に提示。それを実行するか否かは人間が決定。

回避アドバイザリ



機械は助言をするが、場合によっては、人は助言を無視できる

自動化レベル6: 急減圧検知時の自動降下

- (6) コンピュータはひとつの案を人間に提示。
人間が一定時間以内に実行中止を指令しない限り、コンピュータはその案を実行。



- ① システムが客室急減圧を検知
- ② システムは乗員に告知し、同時に緊急降下のカウントダウン開始
- ③ カウントダウン終了までに乗員が拒否権を発動しなければ、システムは緊急降下を実行

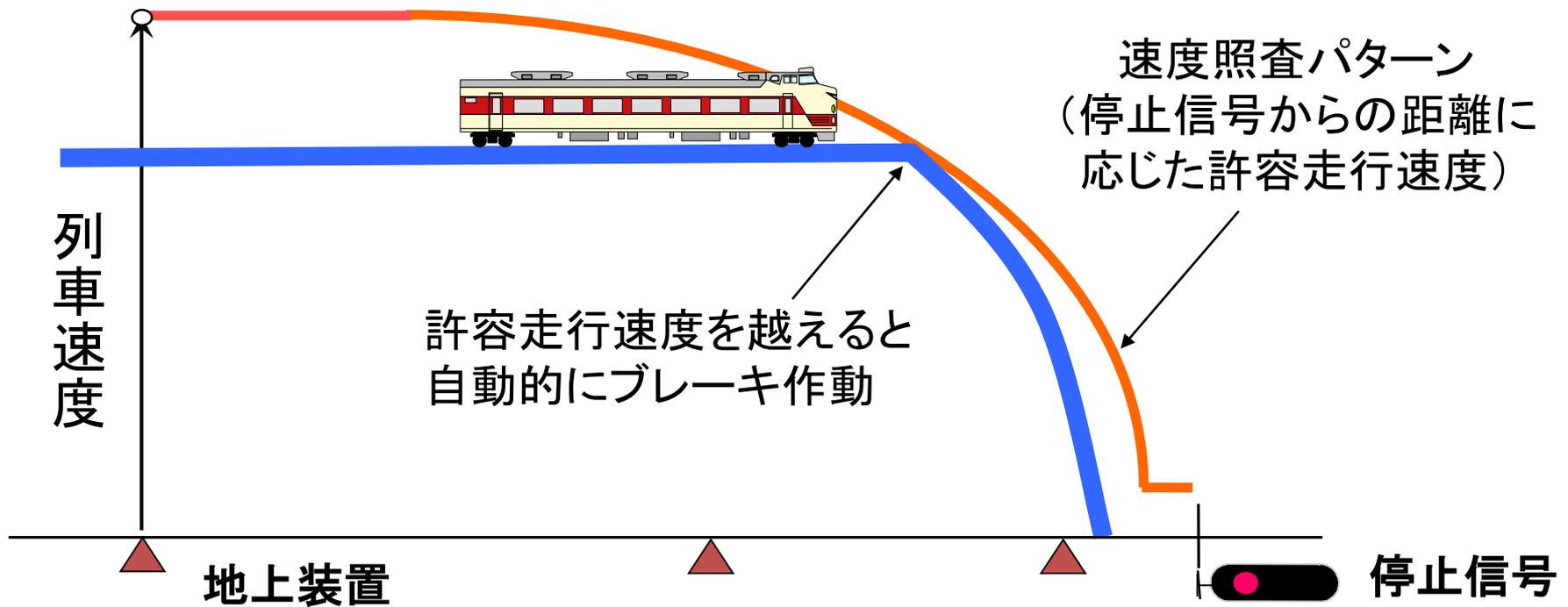
操作開始の遅れ



機械が人に提案を行ったとき、**限られた時間内**に人が明確な拒否を表明しない限り、機械はその提案を実行

自動化レベル6.5: ATS-P

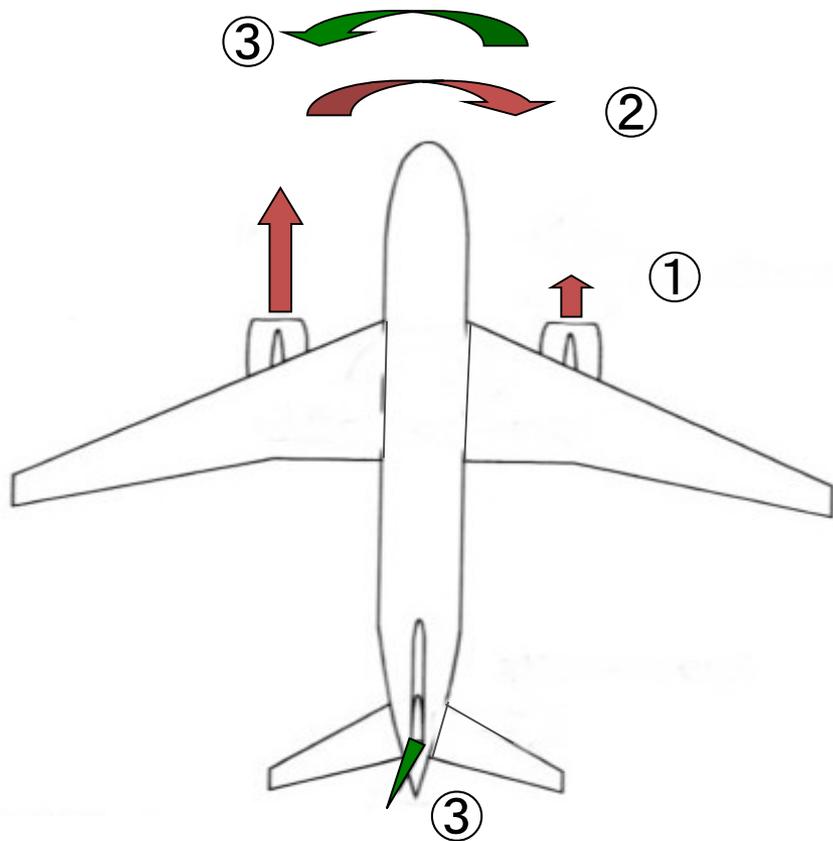
(6.5) コンピュータはひとつの案を人間に提示すると同時に、その案を実行。



機械は、自分の意図を人に伝えると同時に、それを実行

自動化レベル7: エンジン推力不均衡の補償

(7) コンピュータがすべてを行い、何を実行したか人間に報告。

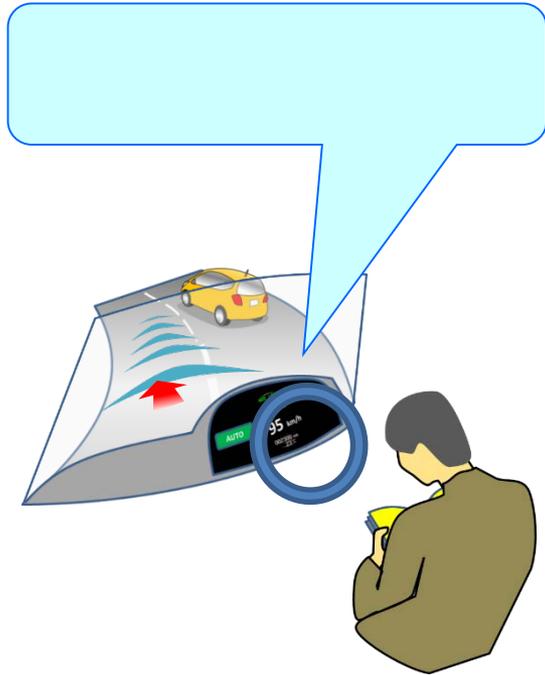


- ① 第2エンジン(右主翼側)故障
- ② 左右エンジンの推力不均衡により機首が右に振れようとする
- ③ TACが方向舵を制御して機首を左に向ける力を作り出して②の力を打消し、機首の振れを抑制

Thrust Asymmetry compensation
(TAC)

機械がよいと思ったことは、即時実行。人へは事後報告

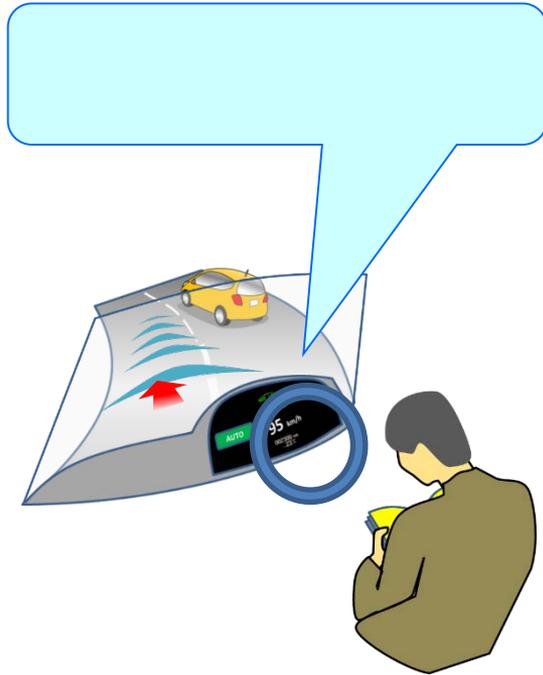
機械から人への権限委譲を行いたいときのメッセージは？



運転しておらず
監視もしていない
ユーザー

1. 「10秒後にシステム機能限界の発生が予想されます」と注意喚起 (LOA=4)
2. 「10秒後にシステム機能限界の発生が予想されるため、運転交代してください。引継ぎ確認でき次第、自動走行モードを解除します」と提案 (LOA=5)
3. 「システム機能限界の発生が予想されるため、10秒後に自動走行モードを解除します。それが不適切と考えられるときは拒否権を発動してください」と宣言 (LOA=6)
4. 「自動走行モードを解除しました」と報告 (LOA=7) …気づかなければ無制御状態

ユーザーが運転交代要請に応えないときは？



運転しておらず
監視もしていない
ユーザー

2. 「10秒後にシステム機能限界の発生が予想されるため、運転交代してください。引継ぎ確認でき次第、自動走行モードを解除します」と提案 (LOA=5)



10秒経過後も、ユーザーが運転していることが確認できない



例：「権限委譲は不可能」と判断し、システムの機能範囲内で車両停止へ向けての制御を実行

レベル4の自動運転 (High Driving Automation)

システム：すべての動的運転タスクを担当。車両故障、システム自身の故障が発生しても、想定作動環境（システム設計時に機能を保証すべき環境として想定されたもの）内であれば、ユーザーの手助けを求めることなく、システムだけで適切に対応。

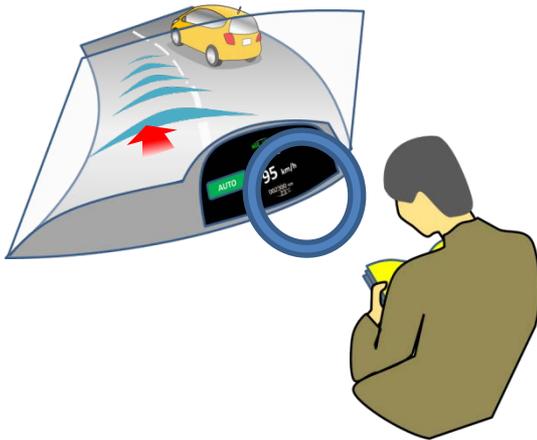
- 「システムだけで対応できる」ことは、「ユーザーに関与させない」ことを意味するの？
- 何が起きているか、システムはそれに対応しようとしているか等はユーザーに知らせるべきか、知らせる必要はないか？



Photo: Volvo

レベル5の自動運転 (Full Driving Automation)

システム： あらゆる道路条件、走行環境条件下において、動的運転タスクのすべてを担当。



有人運転ではあるが、いわゆる「ドライバー」が乗らない車

- 車外の「ドライバー」が操縦
- 車載 AI が「ドライバー」として操縦

ウィーン条約(ジュネーブ条約)との関係をどのように整理？

車両の運転者は、正当な注意義務を適正に行使でき、いかなる操作であっても必要なものはいつでも実行できるよう、車両を常に制御できていなければならない



Photo: Google

完全自動運転において HMI は不要か？

- 「ドライバーとのインタフェース技術が意味をなさなくなる」
 - 「完全自動運転が実用になると、クルマがやり取りする相手はドライバーではなく、乗客になる」
- といった意見もあるが・・・



Photo: Google



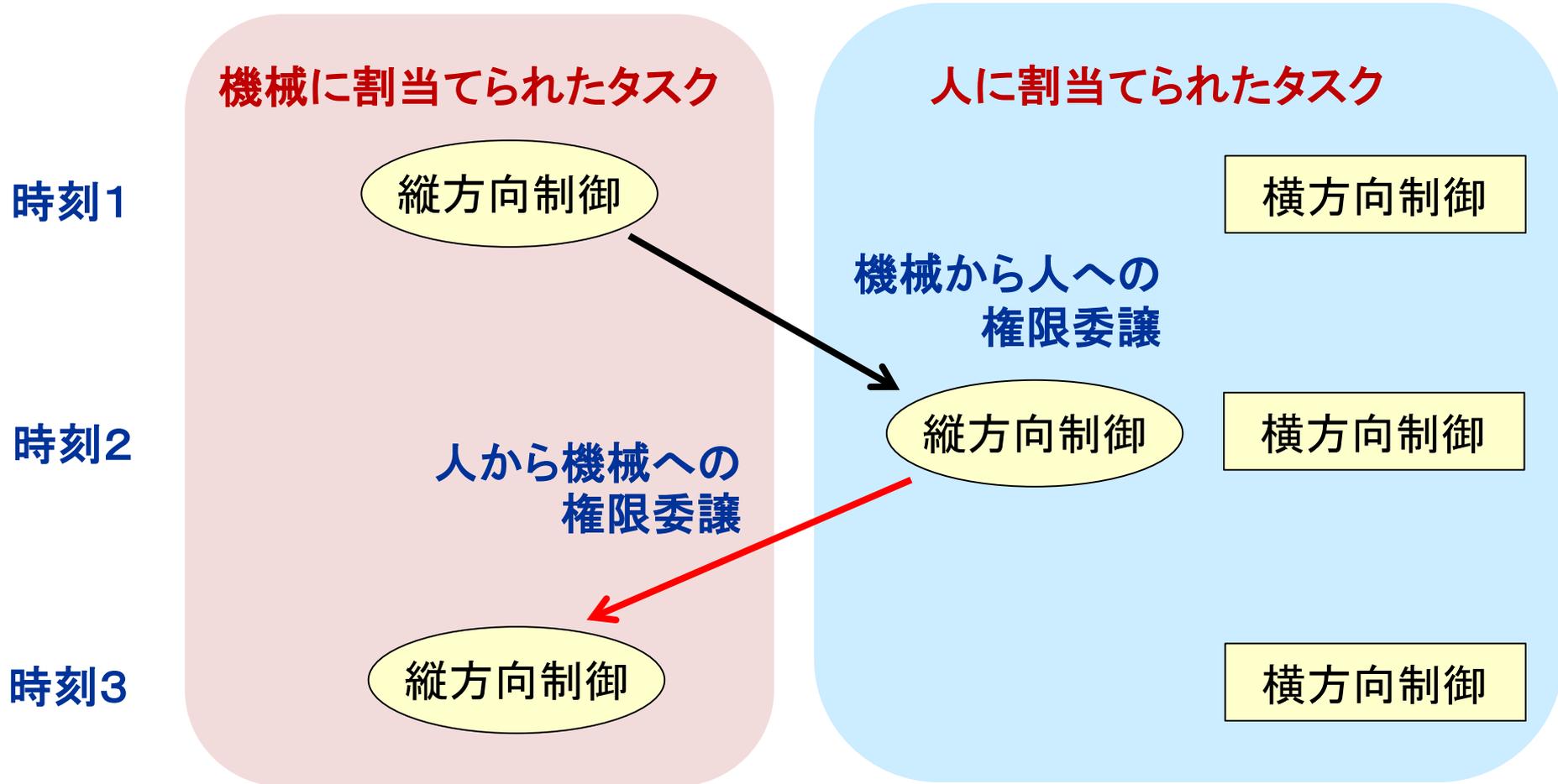
Photo: Zoox

「タクシードライバー」への信頼が前提

権限委譲

(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・実行するのは誰？



自動運転システムの利用には、それなりの心構えが必要



Photo: BMW



Photo: Volvo

- 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
- 自動運転の活用には、ドライバーも社会も意識改革が必要

HMI に関するさらなる検討課題

● 他車のドライバーとの意思疎通

- 「お先にどうぞ」、「ありがとう」を機械は代行できる？
- コミュニケーションの過程と結果をドライバーに伝えるには？
- 「当車のドライバーが倒れました。本線上ですが停車します。気をつけてください」との意思表示をするには？

● 他車のドライバーや歩行者に不安を抱かせない工夫



Photo: Volvo

- あの車のドライバーは前方を見ていないようだが、大丈夫？
- まさか居眠運転ではないだろうね？
- 私たち(車／歩行者)がここにいることは知っているのかな？

何のための自動運転？ 誰のための自動運転？

- 自動運転がドライバーに何をもたらすか
 - 自動運転のレベルに依存
 - 誰を対象とするかに応じて適切な自動運転のレベル選定
 - 自動運転レベルが高いものが「レベルが高い」のではない
- 自動運転がドライバーに求めるもの
 - 自動運転のレベルに依存
 - ドライバーの役割を社会・ドライバーが認識する必要

メーカーが想定する
「ドライバーの役割」

≠

ドライバーが考える
「ドライバーの役割」

状況に応じてさまざまな自動運転レベルを使い分けられるクルマを作るなら

- 現在の自動運転のレベルを明確に表示する HMI が必須
 - 「レベル3と思っていたのに、レベル2だったなんて・・・」等の **モードコンフュージョン** が起こらないようにすること
 - (補) 「自動運転レベル」ではなく、「自動運転モード」と呼ぶべきだった？
- 自動運転レベルは、どのように表示する？
 - 「レベル2」、「レベル3」などとしてよい？
 - 「Conditional driving automation」などと書く？
 - ドライバー全員が、自動運転のレベルの定義を正しく理解し、記憶しているという状況は期待できないのだが・・・
 - ドライバー(あるいはシステム)の役割をアイコン等で示す？

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. (2006). Design of human-machine interactions in light of domain-dependence of human-centered automation, Cogn. Tech. & Work, 8(3), 161-167.

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. Cogn. Tech. & Work, 14(1), 29-37.

Inagaki, T., Moray, N., & Itoh, M. (1998). Trust, self-confidence and authority in human-machine systems, Proc. IFAC Int. Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, Kyoto, Japan (pp. 431-436).

SAE (2016). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Surface Vehicle Recommended Practice, J3016.

Sheridan, T.B. (1992). Telerobotics, automation, and human supervisory control. MIT Press.