



University of Tsukuba
筑波大学

JR東日本技術企業の会
2017年度定時総会・講演会
2017年4月11日

システムの自動化における人間の役割

筑波大学副学長・理事
稲垣 敏之

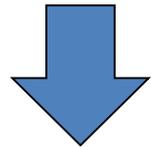
inagaki.toshiyuki.gb@u.tsukuba.ac.jp
<http://www.css.risk.tsukuba.ac.jp>

航空機における自動化の進展

1900年代初頭は、操縦の困難さをパイロットの練度で克服

- パイロットの負担が大
- ヒューマンエラーが入り込む余地

解決策のひとつは、人が担当している機能の自動化



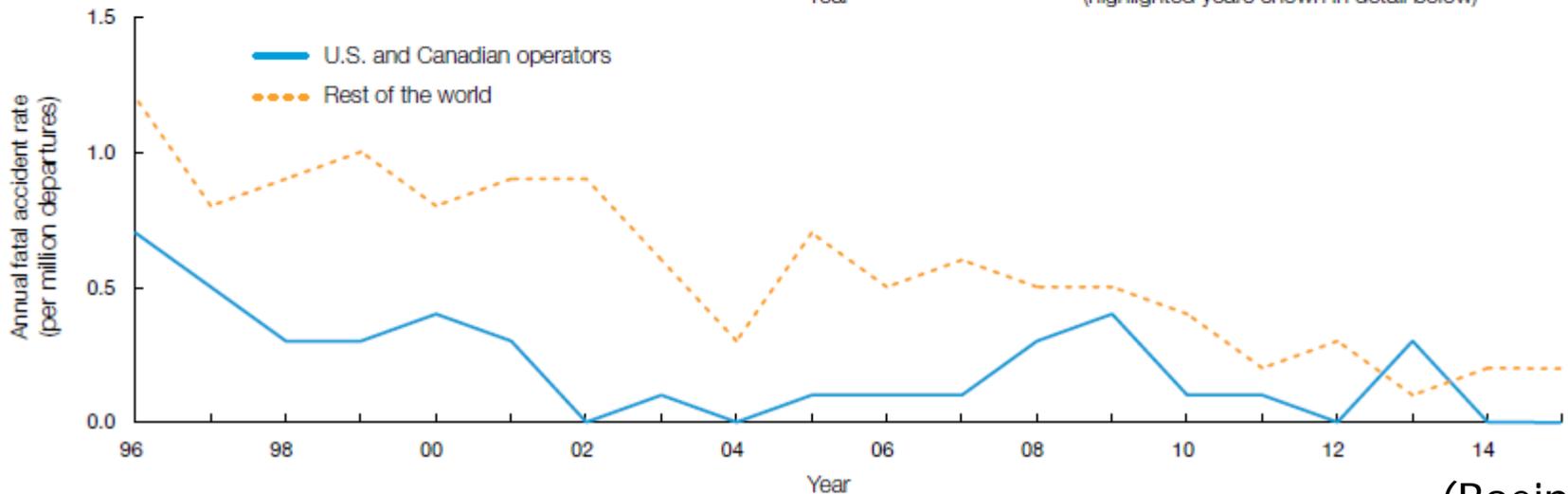
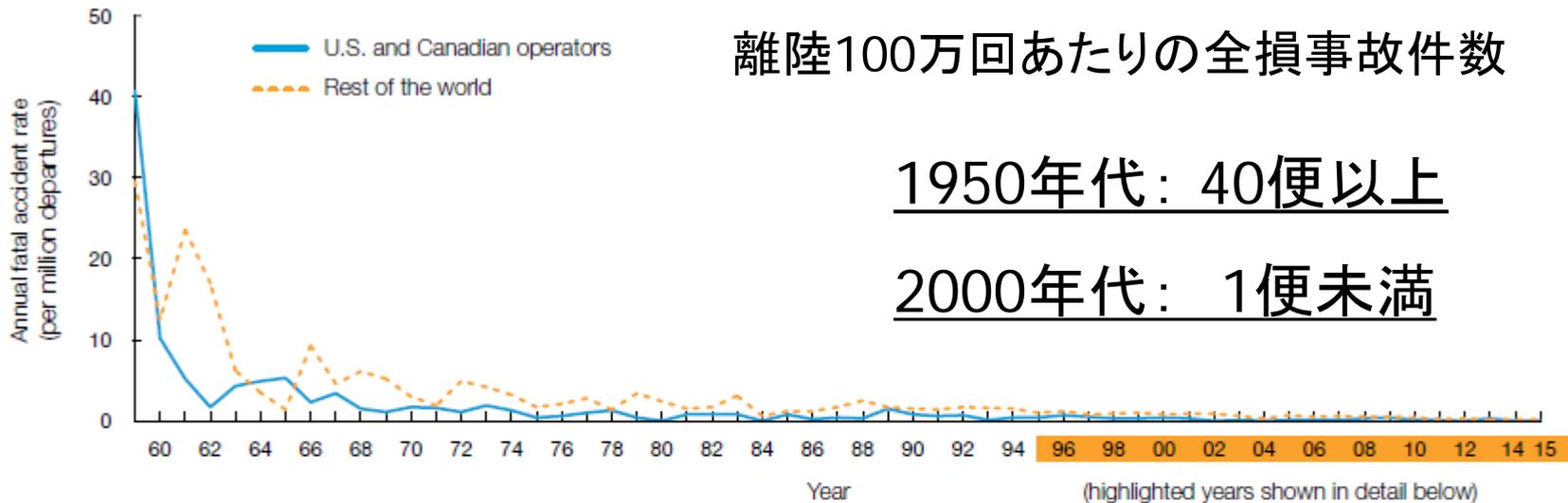
操縦操作の自動化だけでなく、飛行管理(機体重量や気象条件に合った離陸速度・上昇速度・巡航高度・降下開始点等の決定)も自動化

- 長距離路線を担当しているパイロットの年間飛行時間が800-900時間とすると、そのパイロットが自ら操縦を担当しているのは、3時間程度

… 自動化できていないのは離陸フェーズだけ

高い知能と自律性を備えた機械がもたらす光と影(1)

Fatal Accidents | Worldwide Commercial Jet Fleet | 1959 through 2015

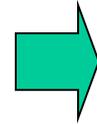


(Boeing 2016)

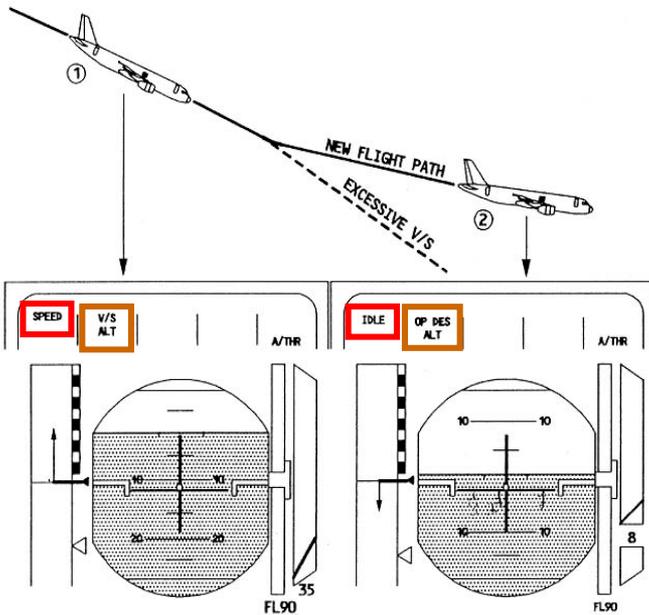
高い知能と自律性を備えた機械がもたらす光と影(2)

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



状況認識の3つのレベル

- レベル1: 何かが起こっていることに**気づく**
- レベル2: その**原因を特定**できる
- レベル3: これからの事態の**推移が予測**できる

グラスコクピット機におけるヒューマンファクター課題

1. 自動化システムの機能や論理が分かりにくい
(状況認識の喪失、オートメーションサプライズ、教育訓練の長時間化)
2. 自動化システムの作動状態が分かりにくい
(状況認識やモード認識の喪失、等：不十分なHMI設計も一因)
3. 自動化システムの使用により、本来低いワークロードがさらに低減
(退屈、危機感の喪失)
4. 自動化システムの使用により、本来高いワークロードがさらに増大
(無理な決定や行動、及びそれに伴うヒューマンエラーの誘発)
5. 自動化システムを使うべきであるのに、使おうとしない
(不信、規則違反)
6. 自動化システムを使ってはいけないうちに、使おうとする
(過信、過度の依存、規則違反)
7. 自動化システムを使用し続ける間に技量の低下が起こる？
(アップセットリカバリ能力の低下・欠如？)

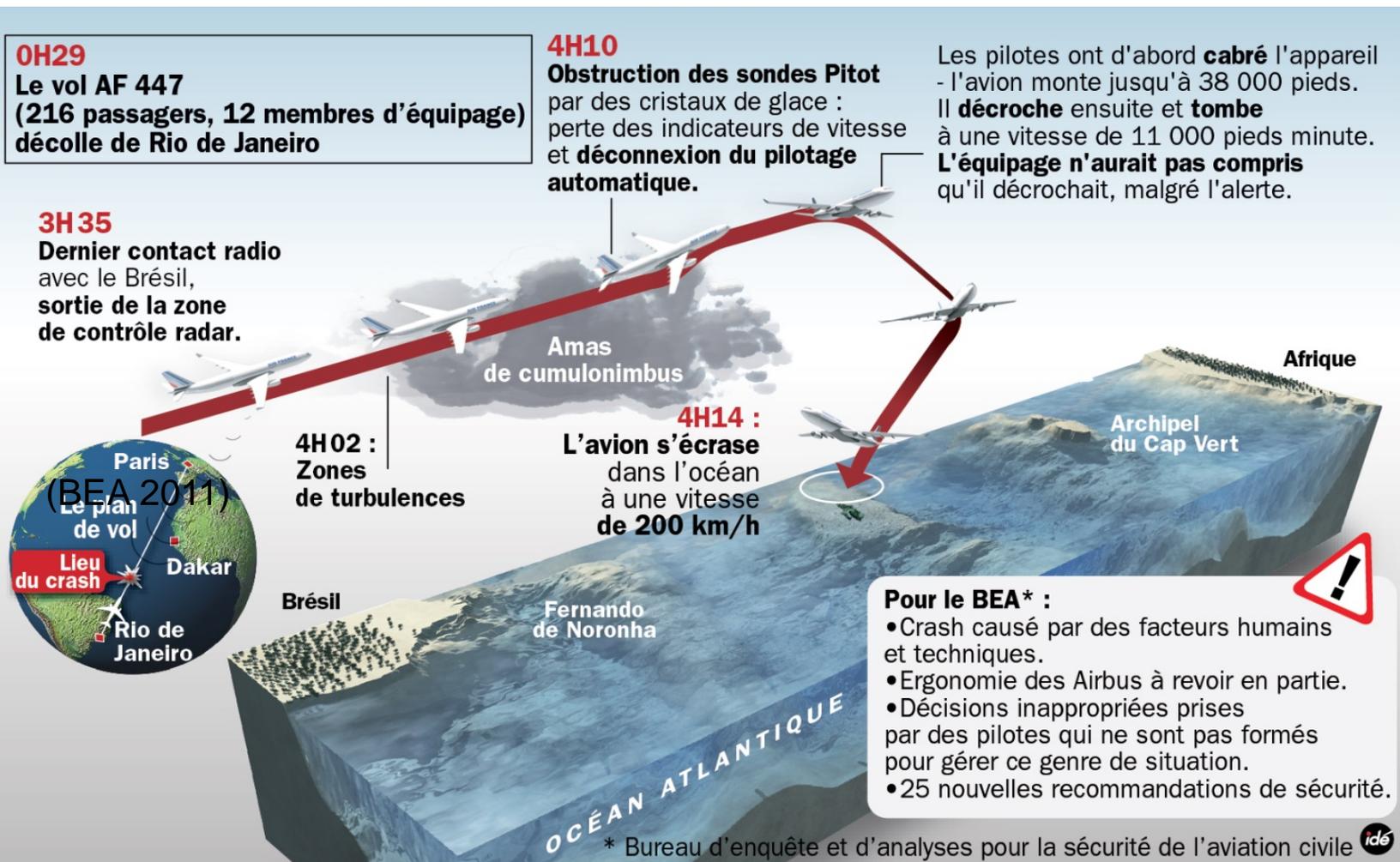
自動化はパイロットの技量を低下させる？

- スキポールで、トルコ航空 1951 便が墜落 (2009.02)
- ブラジル沖大西洋上で、エールフランス 447 便が墜落 (2009.06)
- サンフランシスコで、アジアナ航空 214 便が着陸失敗 (2013.07)



エールフランス447便 (A330-200) 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。



エールフランス447便墜落： 問題提起

【訓練のありかたとシミュレータの改良】

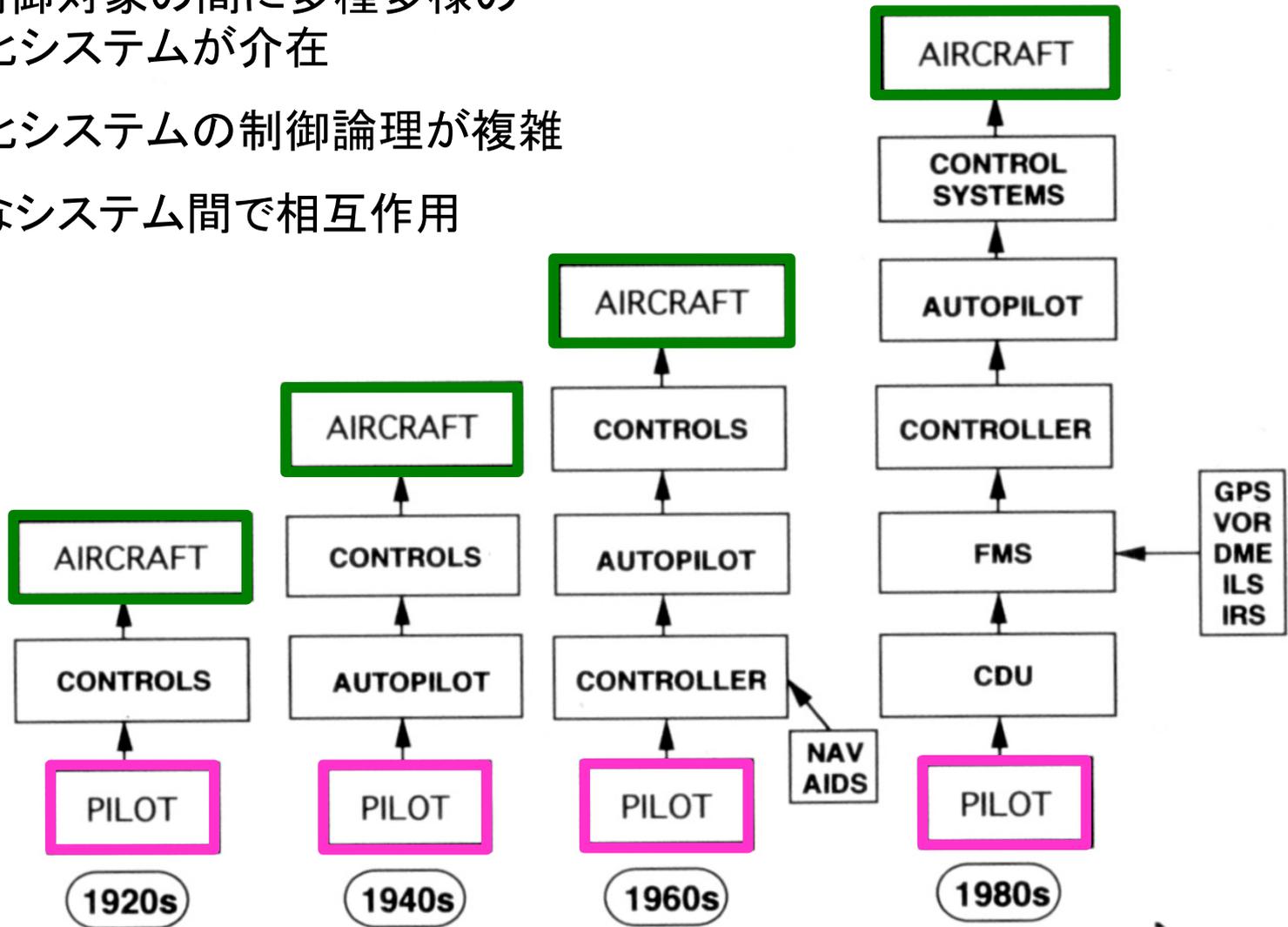
- 低高度での失速に対する訓練は行われていたが、高高度での訓練は行われていなかった
- 制御則がノーマルモードの場合の訓練は行われていたが、オルタネートモード(不適切操作に対するプロテクション機能なし)のもとでの訓練は行われていなかった
- 訓練は既知のシナリオのもとで行われていただけであり、精神的な動揺や反射的な操縦がどのような弊害をもたらすかは体験させていなかった

【もっと手動操縦の機会を】

- 高高度でのマニュアルフライト訓練は行われていなかった

自動化は状況認識を難しくする？

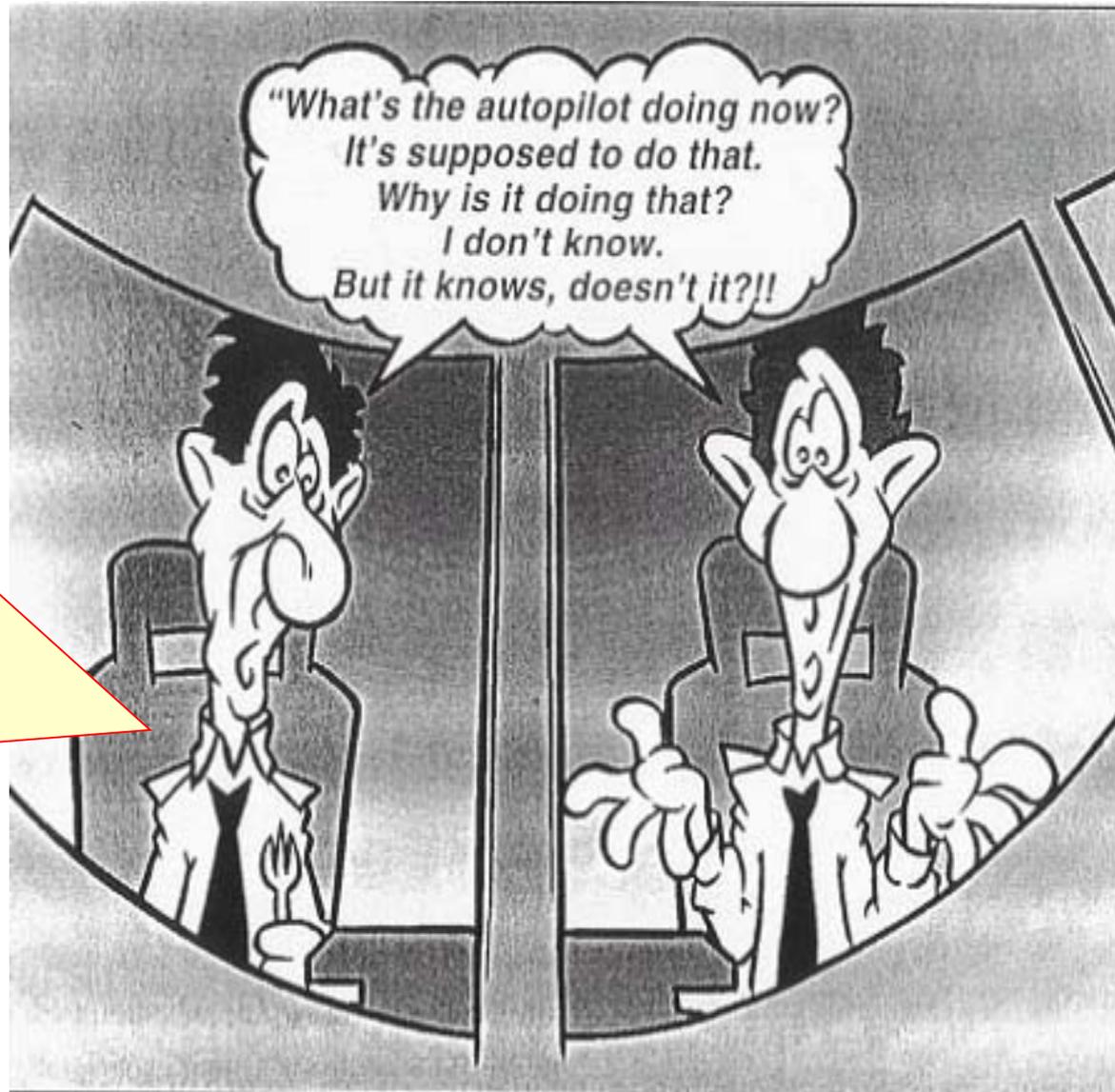
- 人と制御対象の間に多種多様の自動化システムが介在
- 自動化システムの制御論理が複雑
- 様々なシステム間で相互作用



機械への過信はリスクを過小評価させる？

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)

ひとくちに「自動運転」といっても、その形態は多種多様



Photo: BMW



Photo: Volvo

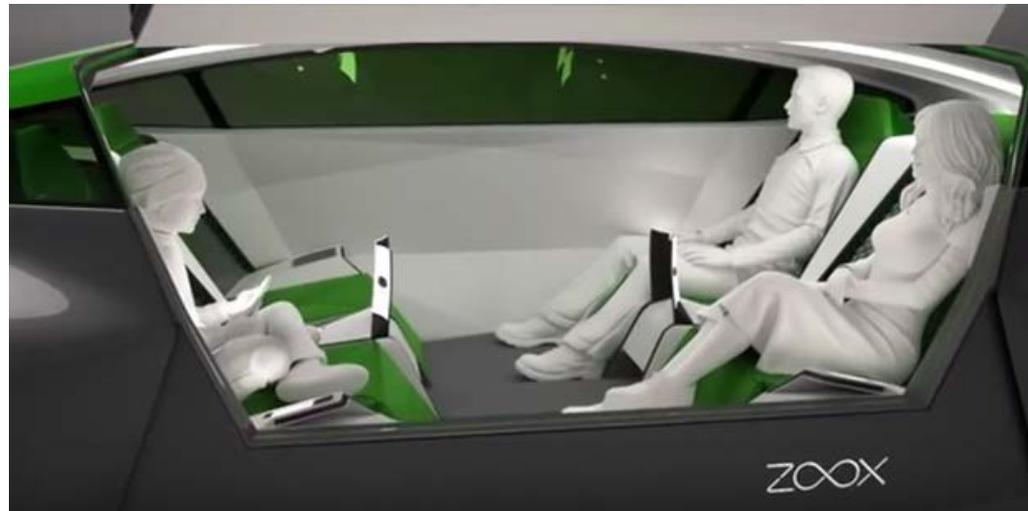


Photo: Zoox

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（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／車両の故障や想定作動環境からの逸脱等が発生しても、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。

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 (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**

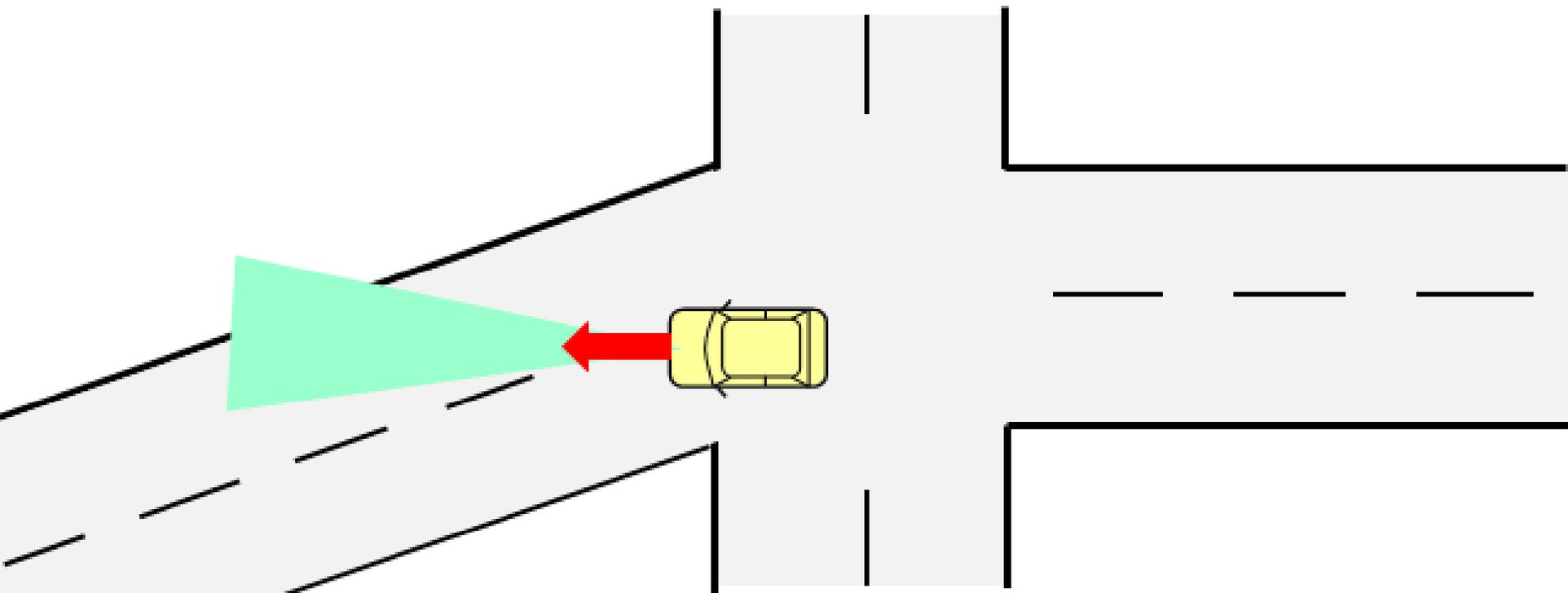
システムの動作原理、能力限界、サブシステム間の相互干渉等に関する正確な理解が必要



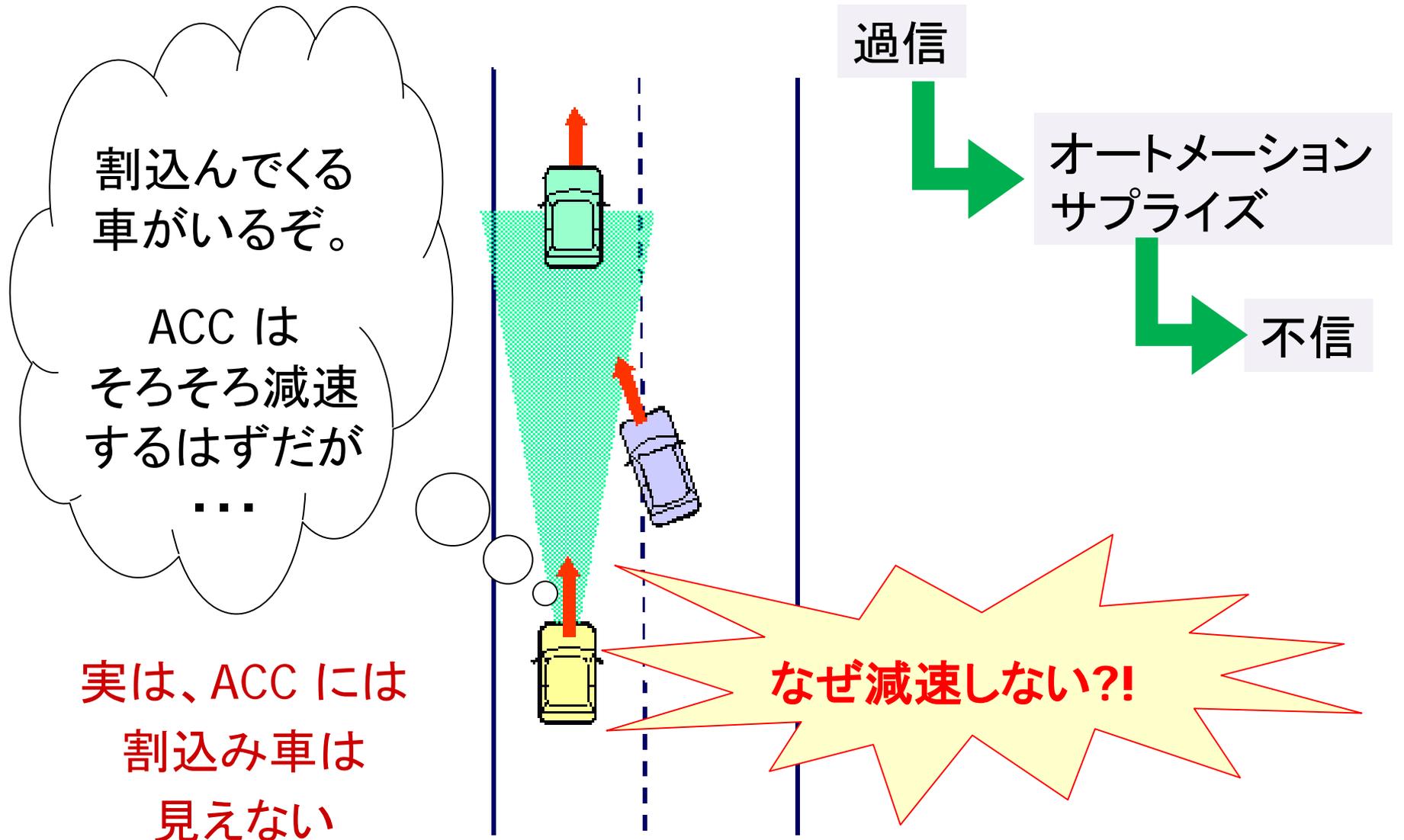
Human-Machine Interface (HMI) のデザインが鍵になる

システムのしくみや動作原理を知らないと...

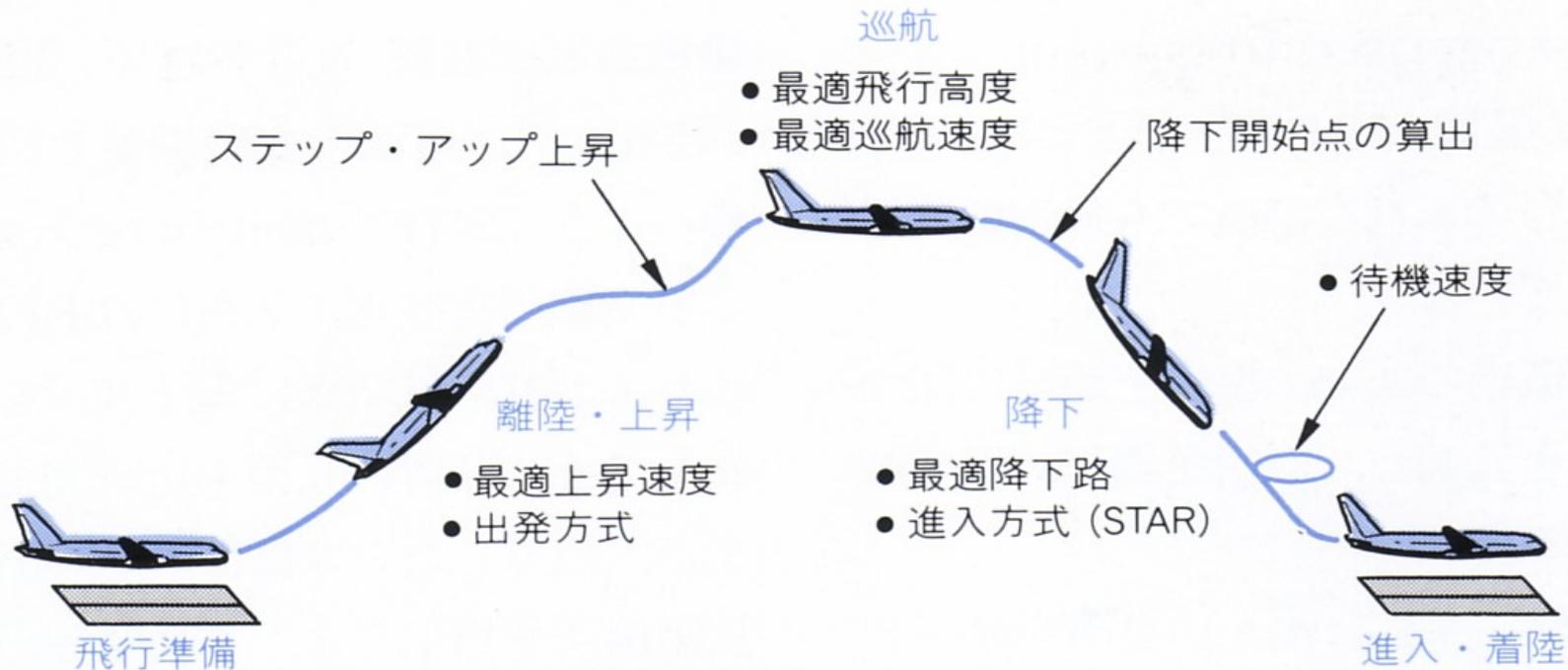
- LCS (Lane Centering System) が交差点で車線を見失い、対向車線へはみ出し
- LCSがレーンマーカ―を追跡することを覚えておれば、リスクに気づいたはず



システムの能力限界が把握できないと...



レベル2の自動運転は航空機の自動化と同等



- パイロットは安全運航の責を負い、システム状態と飛行環境を監視
- ➡ 定期的なシステム機能・原理等の教育、使用法の訓練を受ける
 - ➡ クルマの自動運転のための教育・訓練や免許制度は？

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

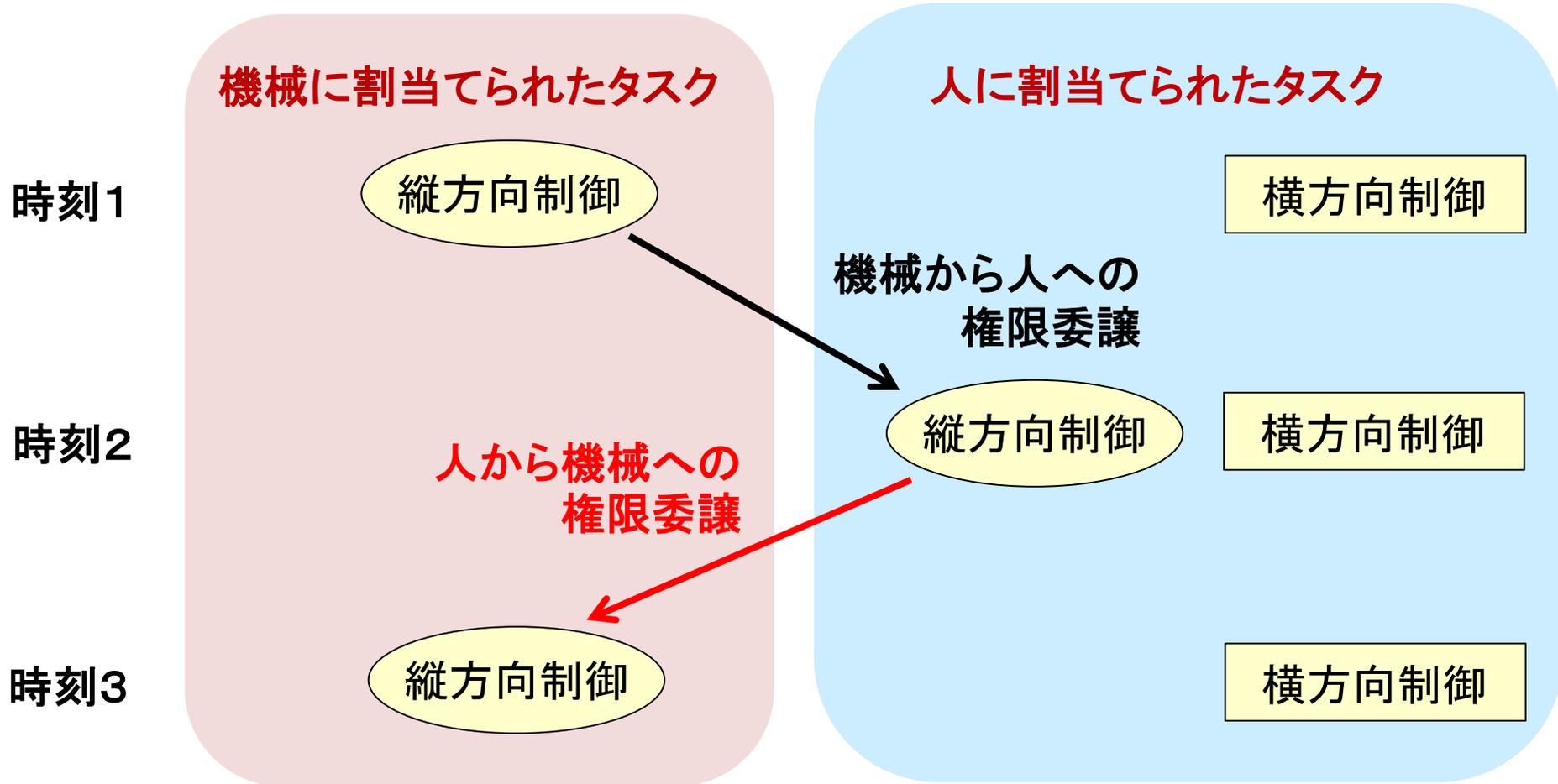
- ユーザーは結果予見、結果回避の義務から解放されているのか？
- 過失責任を問われることもあるのか？
- システムの要請に適切に対応するよう人に求めるのは妥当か？

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

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・実行するのは誰？



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



自動化レベル (Levels of Automation: LOA)

レベル	定義
1	システムの支援なしに、すべてを人が決定・実行。
2	システム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	システム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	システム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	システムはひとつの案を人に提示。人が了承すれば、システムが実行。
6	システム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、システムはその案を実行。
6.5	システムはひとつの案を人に提示すると同時に、その案を実行。
7	システムがすべてを行い、何を実行したか人に報告。
8	システムがすべてを決定・実行。人に問われれば、何を実行したかを報告。
9	システムがすべてを決定・実行。何を実行したかを人に報告するのは、報告の必要性をシステムが認めたときのみ。
10	システムがすべてを決定し、実行。

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？

基本形： 「10秒以内に運転を交代してください」

代替案 …… 自動化レベル(LOA)を参考に考案

- LOA=5 「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」
- LOA=6 「10秒以内に運転を交代してください。交代できない／交代したくない場合は拒否権を発動してください」
- LOA=6.5 「直ちに運転を交代してください。今、まさに自動走行モードを解除しようとしているところです」
- LOA=7 「直ちに運転を交代してください。今、自動走行モードを解除したところです」

リスクを最小にする運転交代要請メッセージ

「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」(LOA=5)



10秒経過後も、ユーザーが運転していることを確認できない



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

上記形態は、「レベル3の自動運転」の範疇の外

➡ レベル3の自動運転は目標とすべきでないのでは？

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。システム／車両の故障や想定作動環境からの逸脱等が発生しても、ユーザーの手助けを求めることなく適切に対応。

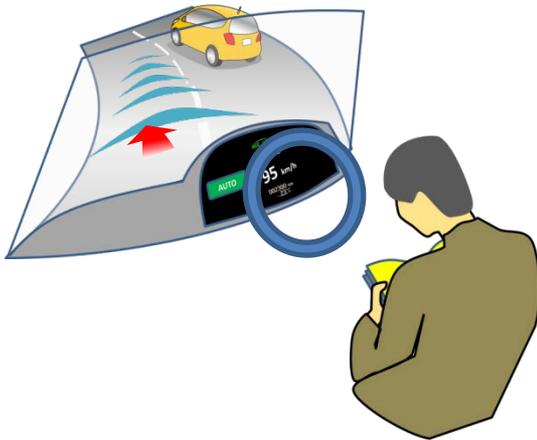


Photo: Volvo

- 「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？
- 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？

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？



Photo: Google

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

何のための自動運転？ 誰のための自動運転？



Photo: BMW



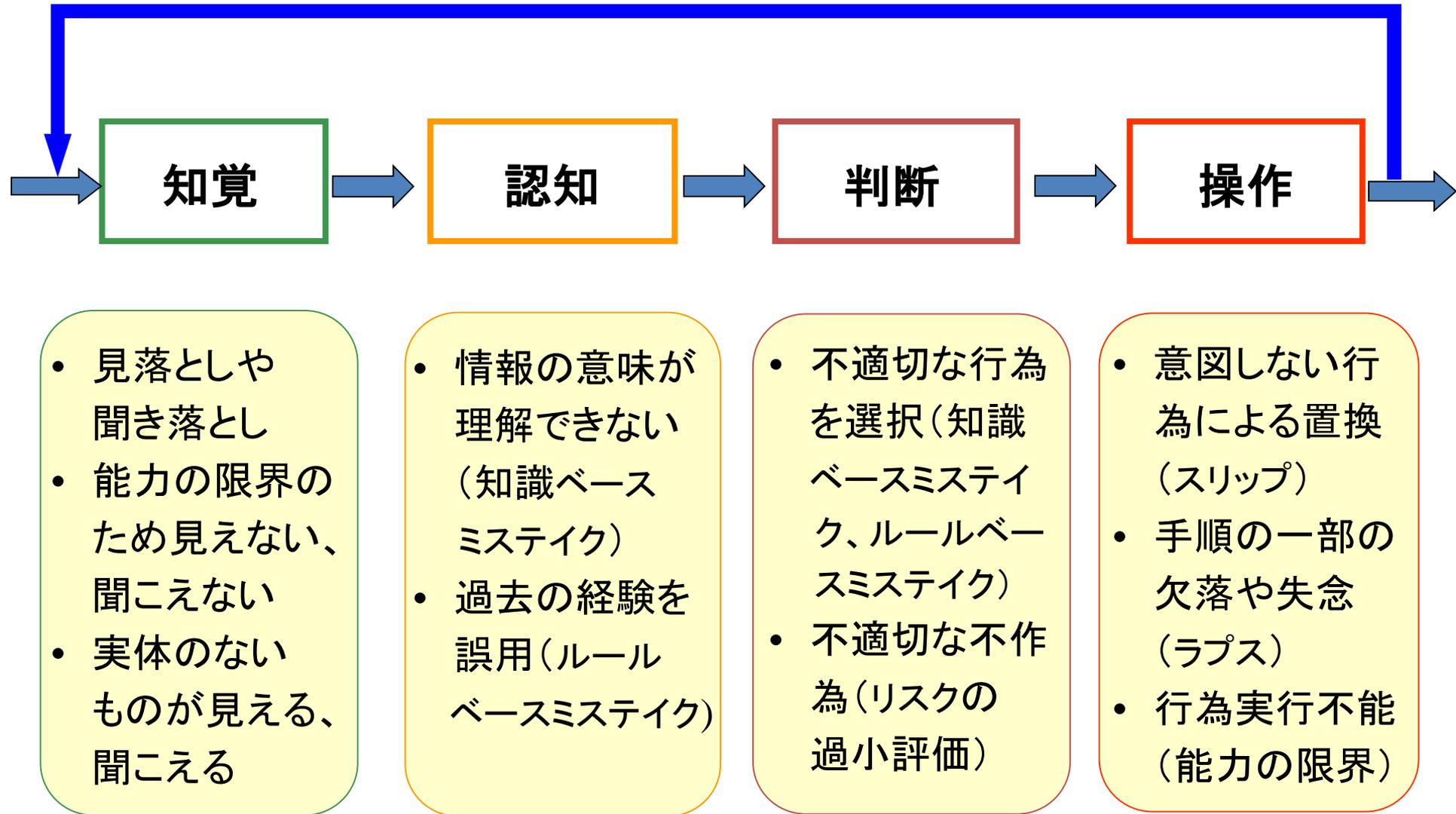
Photo: Volvo



Photo: Zoox

- 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
- 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

情報処理過程で生じるさまざまな失敗



人はリスクを正しく認知できるとは限らない (1)

故障でも飛行、迷ったが

8/1/05

定時運航

機長は、まったく同じ状況にあった1カ月前のフライトを思い出した。

渡された飛行計画書には「与圧装置2系統のうち、1系統が故障」とあった。しかも故障箇所は修理されないまま4日間持ち越されていた。

社内規定では、1系統だけでなく10日間まで飛ぶことが許される。

飛びたくないと思った。整備に問い合わせたが、代

わりの飛行機はなかった。そのまま飛ぶか、修理を求めるか。

朝一便の出発時刻が迫り、離陸を決断した。新聞には、徳島行きの間も自分と同じ選択をした結果、残った1系統が飛行中に壊れた、と報じられていた。

「同じことが起きても不思議じゃなかった」

20年前の夏、東亜国内航空に入社。事故があった8

月12日の記憶は、おぼろげだ。羽田空港で電話番号をしていたが、ターミナルビルの上にあったカウンターまで騒ぎは伝わってこなかった。

当時は、のんびりしていた。20分遅れたら、次の便も20分遅れで飛べばいい。そんな感覚だった。

JALでの今は違う。追い立てられる。焦りやすい。遅れて到着しても、地上職員から「20分後には搭乗を」と言われる。

8月の国内線で、JALは東京―札幌間を往復する44便のうち21便が他社と同時刻、13便が15分以内の差で出発する。

羽田―大阪線、羽田―秋田線などは、新幹線とも競合する。

4月におきたJR西日本脱線事故も、私鉄との分単位の競争が背景にあった。定時性の呪縛が、そのまま重なる。



最終案内、搭乗口まで乗客と一緒に走りながら無線で報告する地上職員―羽田空港で、鎌田正平撮影

人はリスクを正しく認知できるとは限らない (2)

対象について豊富な専門知識を持っている人であっても、
リスクを的確に認知できるとは限らない

ベテランは、ベテランなりのエラーを犯す

「豊富な経験」や
「永年の安全実績」が
安全を損なうこともある

落とし穴のひとつが「過信」



(CFIT Education and Training Aid)

リスクへの対処は難しい

- リスクは、本来、潜在的
 - ー 対処しなくても、不都合がすぐに顕在化するわけではない
 - ー どこに、どのようなリスクがあるのか、ないのか知覚しにくい
- ただし、リスクを見つけることができれば、それを制御する方法も見つけることができる

日常に潜むリスクをいかにして見つけるか



- 事故やインシデントから学ぶ
- ヒヤリハット事例から学ぶ

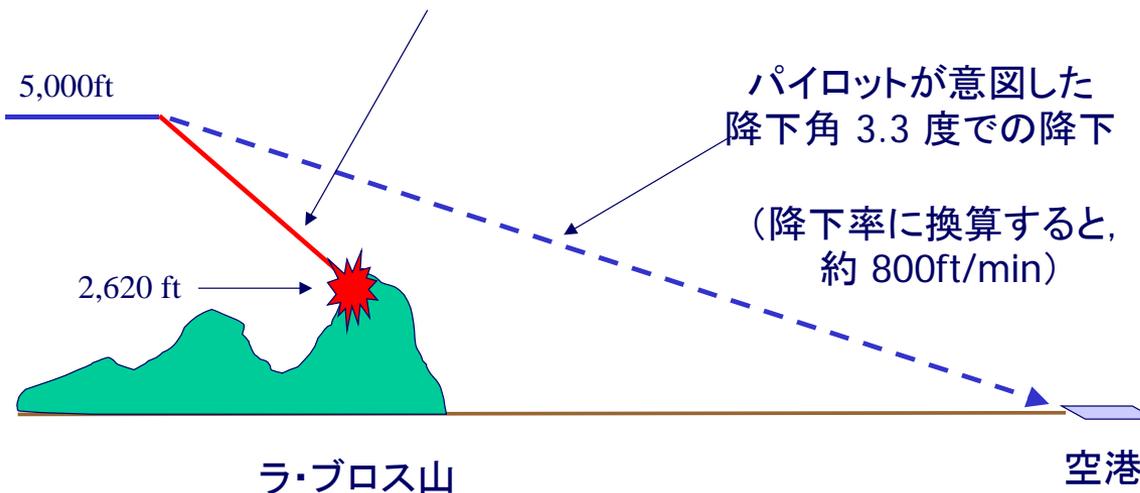
事故やインシデントから学ぶ

(例) ストラスブールでのA320墜落(1992年)

1988年以来、同種のインシデントが発生していたのだが...

- ・ ガトウィック空港 (GPWSで気づく)
- ・ デュッセルドルフ空港 (GPWSで気づく)
- ・ サンディエゴ空港 (クルーが気づく)
- ・ ナンテ空港 (クルーが気づく)

コンピュータに入力された
降下率 3,300 ft/minでの降下



パイロットが意図した
降下角 3.3 度での降下

(降下率に換算すると、
約 800ft/min)



ヒヤリハット事例から学ぶ

犠牲や損害が生じたものからしか学べないのは悲しい

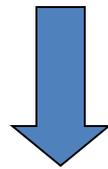
【ヒヤリハット事例の共有】

- 「実は私も同じような経験が・・・」
- 「もし同じことが自分に起こったら、どうするだろう？」
 - ・ **メンタルシミュレーション**
 - ・ **シミュレータを用いた検討**

【注意】 ヒヤリハット事例収集では、匿名性の確保・保証が重要
(懲罰はもとより、報奨の対象ともすべきでない)

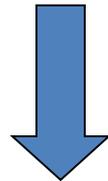
「問題意識の共有」から「問題解決」へ

- 個人レベルで問題に気づく  考えてみる



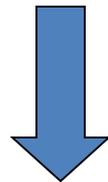
報告・問い合わせ

- グループで問題を共有  考えてみる



報告・問い合わせ

- 組織全体で問題を共有  問題解決



構成員だけでなく、必要に応じて
社会へ情報フィードバック