

# 人間と機械の機能分担\*

稲垣 敏之<sup>1)</sup>

## Function Allocation between Humans and Machines

Toshiyuki Inagaki

Key Words: Safety, Intelligent Transport Systems, Human-Machine Interface / Function Allocation, Adaptive Automation, Levels of Automation, Automation Surprises, Situation Awareness ⑬

### 1. 古典的な考え方

目標達成に必要な機能を人と機械がどのように分担するかを定めることを機能配分とよぶ。ヒューマンマシンシステム設計の重要な課題のひとつである。従来の機能配分は、(1) 考察の対象となる機能ごとに人と機械の能力を比較し、優れた能力を持つほうに当該機能を割当てる方式、(2) 自動化できる機能はすべて自動化し、それ以外のものを人に割当てる方式、(3) システム開発コストを最小化できるように人と機械に機能を割当てる方式、の3通りに分類できる。いずれの方式も「誰が、何をするのか」を決めるが、ひとたび定めた配分は未来永劫変更しない。その意味で、上記の方式は静的機能配分とよばれる<sup>13)</sup>。

方式(2)あるいは(3)は人の特性を明示的に考慮しないものであるため、機能配分が直感的には把握しづらいものになる可能性がある。すなわち、「自分がどの部分を担当することになっているのか」が想起しにくい場合、「これは機械がやってくれるものか」との誤解が生じ得る。これらに比べて、

(1)は比較的妥当なものに見える。しかし、問題がないわけではない。例えば、個々には人が優れているとされる機能であっても、そのような機能を複数個同時に実行しなければならないとき、人の優位を保証することはできない。また、いかに得意な仕事であっても、長時間にわたってその仕事を続けているうちに疲れによって能率が低下することもある。

これらのことから、「誰が、何をするのか」ではなく、「誰が、何を、いつするのか」の検討、すなわち、動的機能配分の枠組みでの検討が不可欠であることがわかる。

動的機能配分とは、機能の担当主体が時折変わり得るものをいう<sup>13)</sup>。この形態は現実のシステムにおいて随所に見ることができる。航空機のフライトパス管理には水平面上のフライトパス管理(LNAV)と鉛直面上のフライトパス管理(VNAV)があるが、「離陸時は人がLNAVとVNAVの両方を担当するが、機体が上昇を始めると、VNAVをコンピュータに任せ、人はLNAVに専念する」といったケースは、動的機能配分の典型である。

### 2. 権限の共有と委譲

動的機能配分であればそれでよいというわけではない。人の視点にたった機能配分の考案が肝要である。そのような機能配分を考察する上で有用な概念に、権限共有と権限委譲がある<sup>13)</sup>。

#### 2.1 権限共有

権限共有とは、人と機械が同時に特定のタスクの実行にあたることをいう。この形態は3種類に大別できる。

(1) 一方のエージェントの行為に他方のエージェントが力を添えることによって能力伸展を図るもの。

例： パワーステアリング、パワーブレーキ、操舵回避アシスト機能、等。

(2) タスク達成に要する人の負担を機械が軽減するもの。

例： 車速/車間制御機能、車線維持支援機能、等。

(3) タスクをたがいに共通部分を持たないサブタスクに分割し、人と機械が各々相補的な部分を担当するもの(いわゆる役割分担と称される形態)。

例： 速度制御あるいは先行車との車間制御をコンピュータに任せ、ステアリングを人が行うケース、等。

#### 2.2 権限委譲

権限委譲とは、一方の主体が行っていたタスクを、ある時点で他方の主体に譲り渡すことをいう。タスクを担当する責任主体が動的に変化する形態であることから、動的機能配分の本質といえる。前節に上げた航空機のフライトパス管理の例では、「VNAVに関わる権限が、人からコンピュータへ委譲された」と表現することができる。

権限委譲は「いつ、誰から誰へ権限を移すか」を問うものであるため、その方式やアルゴリズムの検討が不可欠であるが、「誰がその判断を下し、権限委譲を実行するのか」の検討も重要な課題である。

(例1) Adaptive Cruise Control (ACC) システムに運転を任せられているうちに横から割り込みをかける気配を見せる車に気づいたとき、割り込みされたときのACCの急激な反応を避けるため、いったんACCを解除し、ドライバが割り込み車との間隔を適切にした上で再びACCを作動させるケースは、ドライバの判断に

\*2004年9月30日自動車技術会シンポジウムにおいて発表。

1) 筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻  
(305-8573 つくば市天王台 1-1-1) inagaki@risk.tsukuba.ac.jp

基づいて実行される権限委譲である。

(例2) 高速道路などで前方障害物の存在を警報等で知らせるブレーキ操作を促してもドライバーが対応しないとき、衝突回避あるいは衝突速度低減のために自動的にブレーキをかけるシステムは、機械に判断に基づいてブレーキ操作の権限（あるいは責任）を人から機械に委譲する例である。

「権限委譲の判断を下すのが人でなければならないのか、コンピュータでも良いのか」は、「人間中心の自動化」の論議とも密接に関係する難しい問題である<sup>2)</sup>。これについては節を改めて後述する。

### 3. 何をどこまで自動化するのか

ヒューマンマシンシステムにおける人と機械の協調形態を表現するには、自動化レベル (level of automation) の概念が便利である。Sheridan による 10 段階のレベル<sup>23)</sup> に、筆者らの提案による「自動化レベル 6.5」を加えたものを Table 1 に示す。

Table 1 Scales of levels of automation<sup>16)</sup>

1.	The computer offers no assistance, human must do it all.
2.	The computer offers a complete set of action alternatives, and
3.	narrows the selection down to a few, or
4.	suggests one, and
5.	executes that suggestion if the human approves, or
6.	allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
6.5	executes automatically after telling the human what it is going to do, or
7.	executes automatically, then necessarily informs humans, or
8.	informs him after execution only if he asks, or
9.	informs him after execution if it, the computer, decides to.
10.	The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human.

人の情報処理プロセスには、情報獲得、情報解析、意思決定、行為実行の4つのフェーズを見出すことができる。ここで、各フェーズでの人と機械の協調形態を自動化レベルの観点から考察してみよう<sup>13, 20)</sup>。

#### 3.1 情報獲得の自動化

システムや環境の状態を知るセンシングの自動化については、特に異論は聞かない。完全自動化の例としては、レーダー（自動車、航空機）やソナー（船舶）による情報獲得がある。獲得された情報がディスプレイに表示されるだけのケースもあるが、人の注意を喚起する工夫として、獲得情報をハイライトすることもある。獲得されたすべての情報を人に提示することが必ずしも最善ではないことはよく知られており、情報のフィルタリングも設計時に考慮すべき項目となる。

#### 3.2 情報解析の自動化

大量かつ多様な獲得情報が何を意味しているか、人間に解釈させるには限界がある。そこで、機械を用いて情報を解析し、結果を提示する方式を採ることがある。過去のデータからシステム状態の予測を行う機能などはそのような例である。洋上を水平飛行していた航空機が目的空港への到着を数十分後に控えてまもなく降下に移ろうとする頃、予定された降下開始時点が近づいてくる様子がコクピットのナビゲーション・ディスプレイにグラフィック表示される。これは予測値の表示例である。多次元情報を見やすい形で表現するのも情報解析の自動化である。航空機の位置、高度、フライトパスなどを地形データベースと照合しつつ、自機にとって脅威となりうる地表面（水面）の位置と自機との高度差を瞬時に判別できるよう、色と密度が異なるドットパターンで表示を行う機能強化型対地接近警報システム (Enhanced Ground Proximity Warning System: EGPWS) はそのような例である<sup>4)</sup>。

#### 3.3 意思決定の自動化

意思決定は、状況診断と行為選択の2種類に分類することができる。患者の症状から、複数の診断仮説を確信度とともに提示する機能をもつ医用エキスパートシステムは状況診断の自動化を行うものであり、その自動化レベルは2または3である。最も確からしい診断仮説のみしか提示しないものであれば、自動化レベルは4となる。

行為選択の自動化の例としては、航空機衝突防止システム (Traffic alert and Collision Avoidance System: TCAS) があげられる<sup>4)</sup>。前方の航空機との衝突が危惧される場合、TCASは上昇あるいは降下を指示する回避アドバイザリを発する。ただし、回避アドバイザリに強制力はない。その意味で、自動化レベルは4である。先に述べた EGPWS あるいは従来型の対地接近警報システム (GPWS) についても同様のことがいえる。すなわち、前方の地表面への衝突が予測される場合「Pull-up!」の音声指示が発するが、パイロットをそれに従わせるだけの権限は与えられておらず、自動化レベルは4にとどまっている。

#### 3.4 行為実行の自動化

行為の自動化をどこまで進めてよいかは、難しい問題である。例えば、TCAS は衝突を避けるために上昇すべきか降下すべきかを判断しても、それを実行する権限は持っていない。TCAS の判断が適切でないこともあるからである。TCAS が「降下せよ!」と指示しても、すでに低高度である場合などでは、さらなる降下は危険である。もし TCAS の指示を自動実行する機構が備わっていると、地表面への衝突を招く可能性がないわけではない。一方で、TCAS に頼らざるを得ない場面もある。上空では相手機と自機のいずれが上にいるかを目視で判断することは難しい。相手機も TCAS を搭載しているときは、一方の TCAS が「上昇」、他方が「降下」を指示するよう、2つの TCAS の間

で通信を行い、指示が調整される<sup>4)</sup>。したがって、TCASの指示に逆らうことには大きなリスクがあるが、接近する2機のうちの1機がTCASの回避操作指示と逆の操作をしたために惨事に至った例がある。「TCASの指示に従え」とマニュアルに記載するだけでなく、TCASの指示が明らかに誤りであるとパイロットが判断した場合には拒否権を行使できるが、デフォルトとしてはTCASの指示を自動実行する機構の有効性を検討してみることも必要であろうと筆者は考えている。

行為実行が自動化されておれば事故が回避できたであろうとされる事例がある。1995年コロンビアのカリで発生したB757墜落事故である<sup>1,2)</sup>。GPWSが「Pull-up!」警報を発したとき、パイロットは直ちに操縦輪を引き、最大推力で急上昇しようとしたが、それまで高度処理（降下）に使用していたスピードブレーキの格納を忘れた。パイロットは最大推力を得ようとしていることをコンピュータが検知したとき、そのパイロットの意図にそぐわない働きをもつスピードブレーキを自動的に格納させるしくみがあれば、墜落は回避できたはずだとされる<sup>9)</sup>。

#### 4. アダプティブ・オートメーション

人のワークロードが適正であるか、システムのパフォーマンスや安全性は適切であるかなど、人の状態やシステムを取り巻く周囲の環境などに合わせて機能配分を動的に調整し、ヒューマンエラーを防止しようとするしかけをアダプティブ・オートメーション (adaptive automation) とよぶ<sup>13)</sup>。時に人が担当していたタスクを機械に渡す、あるいはその逆を行うことから、アダプティブ・オートメーションの本質は権限委譲にあるといつてよい。権限委譲の実現法には、さまざまなものがある。ここでは実用的価値があると思われる2種類について述べる。

##### 4.1 クリティカル・イベント・ロジック

人のワークロードが高くなる、あるいは危険が差し迫っているものの余裕時間が短いため人に対応させるのが難しいなどの事象 (クリティカル・イベントとよぶ) を定義しておき、システム運用中にこの事象が発生すると、それまで人が担当していたタスク (あるいはその一部) を機械に代替させるように機能再配分を行うのがクリティカル・イベント・ロジックである。

(例3) 高速道路などで前方障害物を検知したものの、ドライバーに障害物の存在を警報等で知らせるブレーキ操作を促しているだけの時間余裕がないとき、衝突回避あるいは衝突速度低減を図るために自動的にブレーキをかけるシステムがあったとする。このようなシステムは、クリティカル・イベント・ロジックによって権限委譲を実行するものといえる。

(例4) 一部軍用機に搭載されている Automatic GCAS (ground collision avoidance system) は、地表面への衝突が危惧される場合、コンピュータが自動的に衝突回避操作を行う<sup>22)</sup>。これも、クリティカル・イベント・ロジックによって権限委譲を実施するシ

ステムである。

クリティカル・イベント・ロジックには、(1) 事象発生を検知後ただちにコンピュータが機能再配分を実行する方式、(2) 事象発生を検知に伴い、コンピュータは機能再配分を人に提示し、人の了承を得てから機能再配分を実行する方式等、いくつかの異なるタイプがある。自動化レベルの観点から考えると違いが明確になる。すなわち、(1)の自動化レベルは6.5以上、(2)の自動化レベルは5である。自動化レベルを高く設定すると、人のワークロードを軽減することができる。しかし、人の指示を待たずにコンピュータによる自律的判断・操作が行われるため、オートメーション・サプライズ (automation surprises) が発生する危険性もある<sup>1)</sup>。

##### 4.2 測定ベース・ロジック

人のワークロードを測定し、それがつねに適切なレベルに保たれるように機能配分を変更する方式は、測定ベース・ロジックの例である。ワークロードは低すぎても高すぎても良くない。ワークロードが適正値を上回る、あるいは下回る場合には、機械から人へタスクが受け渡される。最近では、心理・生理指標を利用する方法も提案されている<sup>21)</sup>。この方法は、連続時間的に測定値を得ることができる点に特徴があり、反応時間など行動特性に関する情報と組み合わせればワークロードをより正確に知ることができるとされる。

一方で、自動車の一般ドライバーを想定したとき、測定装置を体に貼り付けての運転を強要することは難しいとする立場もある。そのような観点から重要と考えられる測定ベース・ロジックのひとつは、ステアリング・トルク等のデータを用いるものである。つぎはそのような例である。

(例5) 走行速度および先行車との車間の制御をコンピュータに任せ、さらに車線維持支援装置を使用して高速道路を走行しているドライバーがいたとする。さて、コンピュータは、ステアリング・トルクをモニタしているうちに、ドライバーが小刻みなステアリング操作をしなくなっていることに気づいた。車線維持支援装置は、ドライバーのステアリング操作負担を軽減するものであり、ステアリングの自動化システムではない。このドライバーは自ら操舵することを放棄したのだろうか、それとも眠気に襲われているのだろうか。いずれにしても、ドライバーに自ら運転させたほうが良い判断したコンピュータは、支援をいったん解除する旨をドライバーに通知することにした。これは測定ベース・ロジックによる権限委譲である。

測定ベース・ロジックを用いる場合には、対象となる個人ごとにアルゴリズムを調整する必要がある。ある人にとっては特に違和感を覚えないワークロードであっても、別の人にとっては、ワークロードが高すぎる、あるいは低すぎると感じるケースがあり得るからである。

## 5. 決定権の所在

権限委譲ロジックはプロダクションルールで表現できることから、「機能再配分の判断・実行はコンピュータに任せてよい」といってもよいように思えるが、実はそれほど単純な問題ではない。その理由の第1は、信頼性である。コンピュータが決して故障しないという保証はなく、センサからのデータがつねに正確な情報であるという保証もない。それでも敢えてコンピュータに権限を与えるならば、人はコンピュータの動作が正しく行われるか否かをつねに監視していなくてはならず、新たなワークロードを課すことになる。第2の理由は、思想あるいは信条的なものである。「最終決定権は人間に与えるべきである」<sup>5,24)</sup> ことを「人間中心の自動化」の大前提ととらえる立場の人にとっては、コンピュータに決定権を与えることなど、到底認められるところではない。

一方、権限委譲をいつ行うべきかを人間に決定させることにも問題がある。「負担が過大、あるいは時間的余裕がない状況は人にとって過酷な環境であり、パフォーマンスの低下のみならず、ヒューマンエラーも誘発しかねない」ことから、権限委譲アイデアが生まれてきたのであった。しかるに、本来のタスクに加えて、「自らの負担は過大であるか」、「機械にタスクの一部を渡すべきか」、「渡すとすれば、いつどのタスクを渡すか」の判断を人間に要求することは、権限委譲によって人の負担を軽減したいとする当初の趣旨にそぐわないものとなる。

「人間中心の自動化」の「最終決定権は人間に与えておくべきである」との言明を「いついかなる場合でも最終決定権は人間に与えておくべきである」と解釈することは、「命題の不適切な一般化」という誤りを犯すことになる<sup>2,11)</sup>。制約条件が少ないほど、良い最適解が得られることは最適性理論の教えるところである。機能再配分の決定権を「つねに人間に与えるべきである」と仮定することも、「つねにコンピュータに与えるべきである」と仮定することも、解の選択範囲に制約を課したことになる。いかなる制約条件も課さずに問題を解くと、ある場合には「人間に決定権を与えることが最適」、別の場合には「コンピュータに決定させる方が良い」などの解が得られるはずである<sup>7)</sup>。実際、数理モデルを用いた解析<sup>8-10)</sup>、認知工学実験<sup>14, 17-18)</sup>により、人間に決定権を与える形態とコンピュータに決定権を与える形態は、状況に応じて使い分けるべきであることが明らかになっている。

## 6. 過信と不信の交錯

いまやわれわれの身の回りにある機械は、状況を認知・解析し、なすべき行為を決め、その行為を実行するに十分な知能と自律性を持つ。しかし、この優れた特性が人に有害な影響をもたらすことがある。有能でいつもの確に対応してくれる様子を見ているうちに、「つぎもきちんとやってくれるはずだ」という気持ちが生じて不思議ではない。「前方に障害物があれば必ず知らせてくれるし、たとえ私のブレーキ操作が遅れても、自動

的にブレーキをかけてくれるから大丈夫だ」というように、自ら注意を払うことなく機械に任せきりになるかもしれない。警戒心の欠如、過信、**complacency**等と呼ばれる現象である<sup>3,14,19)</sup>。機械の信頼性が高くなればなるほど、このような落とし穴にはまりやすくなり、かえって安全性が損なわれることにもなる<sup>1)</sup>。

一方で、機械は人と全く同じように状況を知覚するとは限らない。人は眼前の状況をAだと思っているが、機械はAと考えることもありうる。すると、人が機械に期待する行動と、機械が実際に採る行動が食い違う。「いったいこの機械は何をしているのだ?」、「なぜこんなことをしているのだ?」、「つぎは何をやるつもりだ?」といわせるようなことが起こりうるわけである。オートメーション・サブライズと称される現象であり、単に状況認識の喪失に留まらず、機械に対する人の信頼は大きく損なわれる<sup>1,15)</sup>。

## 7. デザインとしての自動化レベル設定

運転者の質（教育・訓練の度合い等）や、認知・判断・操作に関わる時間余裕等において、自動車は航空機に比べて一般に厳しい条件を課せられている。状況を認知してから危険を回避するまでの時間余裕を例にとると、航空機の場合、GPWS 警報が発せられるのは地表面への衝突予想時刻の20~30秒前であり、TCAS が回避アドバイザリを発するのは脅威機への最接近予想時刻の15~35秒前である<sup>4)</sup>。また、TCASの場合、回避アドバイザリが発せられて5秒以内にパイロットが操作を開始すれば、衝突は避けることができる。ところが自動車の場合は、前方障害物への衝突警報が発せられてから衝突回避操作を始めるまでに許される時間はほんの数秒である。このことから、ワークロードの適正化や安全確保のために人間に適切な支援を与えつつもオートメーション・サブライズを引き起こさない権限委譲ロジックの設計は、自動車では特に重要な課題となる。

つぎに示すように、権限委譲ロジックの設計は、自動化レベルの設定と密接な関連を持つ。

（例6）高速道路を走行中、センサが先行車の急減速を検知したとする。この状況でのドライバ支援にはさまざまな形態が考えられる。例えば、（1）「ブレーキをかけよ」と警報を発する方式、（2）「ブレーキをかけよ」と指示してもドライバの反応が迅速でなければ自動的に制動を開始する方式、（3）「ブレーキをかけます」と宣言すると同時に自動的ブレーキをかける方式（クリティカル・イベント・ロジック）、（4）自動ブレーキをかけた後で、「ブレーキをかけました」と事後報告する方式（クリティカル・イベント・ロジック）等がある<sup>12)</sup>。

方式（1）の自動化レベルは4であり権限委譲を伴わないが、（2）の自動化レベルは6であり、場合によって権限委譲が起こる。（3）はドライバへの通知と同時に権限委譲が行われるタイプで、自動化レベルは6.5である。（4）は権限委譲が行われたことを事後報告する方式で、自動化レベルは7となる。

方式（１）あるいは（２）は、比較的余剰がある場面想定している。一方、（３）あるいは（４）は、ドライバにブレーキ操作を促している時間がない場面想定したものといえる。なお、（４）のような事後報告方式の自動的な権限委譲はオートメーション・サプライズを惹起する可能性がある。（３）は、その可能性の低減を図ろうとするものである。

ところで、「最終決定権を人間に与える」ことを愚直に守ろうとするなら、自動化レベルは高々５にとどめておかねばならないが、はたして読者は、「いかなる状況においても上記方式の（１）または（２）で十分であり、（３）や（４）は一考にも値しない」とお考えになるだろうか。おそらくそうではあるまい。このことから、特に自動車分野では、航空分野でいう「人間中心の自動化」を安易に信奉することは適切とは考えられない。さらに、航空分野においてすら、自動化レベル６以上が有効とされるものも知られていることに注意すべきであろう。

（例７）レーン中央を走行するためのドライバ負担を軽減する車線維持支援システムを考えよう。ドライバがそのシステムに過度に依存することは状況認識喪失につながりかねないことから、好ましいことではない。そこで、ドライバのステアリングをモニタし、運転への関与の積極性を評価するしくみを備えることがある。ドライバの積極性が乏しいと判断されたときの対応策（測定ベース・ロジック）としては、（１）「きちんと運転していますか？」とのメッセージによって注意を喚起する方式、（２）「自動モードを解除して自分で運転しますか？」と問いかける方式、（３）「10秒以内に運転への積極性が改善されなければ自動モードを解除します」と宣言する方式、（４）「自動モードを解除しました」と事後報告する方式等が考えられる<sup>12)</sup>。

方式（１）の自動化レベルは４であり、（２）の自動化レベルは５である。いずれの場合も、ドライバがメッセージを聞き逃したり無視したりすれば、コンピュータが車線維持を担当する状態が継続することとなる。（３）の自動化レベルは６であるため、ドライバが自動モードの継続を望むなら、10秒以内に「拒否権」を発動しなければならない。一方、自動モードの解除を受け入れてもよいと思うなら、特に何もしなくても10秒後にはマニュアルモードに切り替わる。しかし、ドライバがメッセージに気づかなかった場合は何が起ころうか。知らないうちに車線維持支援システムが解除されることになり、やがてカーブに差し掛かったとき、直進を続けて車線を逸脱しそうな自車の様子にドライバは驚くことになるかもしれない。（４）の自動化レベルは７であり、ドライバの状況認識が不十分であれば、やはりオートメーション・サプライズが発生する可能性がある。

例６、例７いずれの場合についても、自動化レベルの定め方には複数の可能性があったが、そのうちのどの自動化レベルを採用すべきかを定性的な議論から決することは難しい。何らか

の定量的解析が必要となるが、筆者は、認知工学的実験<sup>14,17-18)</sup>、数理モデルを用いた理論解析<sup>8-10)</sup>、タスクネットワークに基づくコンピュータシミュレーション<sup>16)</sup>等を使い分けて、最適な自動化レベルを明らかにするようにしている。

## 8. デザインの視点

人を支援するためのシステムが、その能力以上に信頼されても、能力を不当に低く評価されても、システム導入の企図は達成されない。人と機械が真のチームメートになるには、ヒューマン・インタフェース設計に特段の配慮が必要である。例えば、つぎのような項目が挙げられる。

（１）機械がなぜそのように判断したのか、その根拠が分かるような情報を提示する（例：「GPWSには誤報がある」とのことから、Pull up 警報に対応せず事故に至った例が知られている。EGPWS では潜在危険をもたらす地形が正確にディスプレイ表示されるため、人は機械が各時刻で状況をどのように認識しているかを知ることができる。したがって、危険状況で発出された Pull up 警報を不用意に疑うような誤りは起こりにくいものと考えてよい）。

（２）機械が今何をしようとしているのか、意図理解の手がかりとなる情報を提示する（例：コンピュータによる自動操縦の際、操縦輪とスラストレバーがあたかも透明人間が操作しているように動けば、人はコンピュータの操作とその背後の意図を理解しやすくなる。なお、ある種の航空機では、自動操縦時にこのような視覚的・触覚的フィードバックが与えられていない。そのような設計になっていることには理由があるのだが、異論がないわけではない）。

（３）人と機械の状況認識共有を助けるような情報を提示する（例：ACC で先行車を追従中、その先行車のすぐ後ろに、隣の車線からやや速度の遅い車がはみ出してきたとしよう。私の車を制御しているコンピュータは、果たしてその車を認識してくれているだろうか。また、前方に複数の車が交錯した状況では、コンピュータがどの車を先行車として認識しているのだろうか。これらのことを直感的に表示するしくみがあったなら、走行安全に重要な役割を果たすことになる）。

（４）機械への過信を防ぐために、機械の能力限界を知る手がかりとなる情報を提示する（例：上の ACC の例において、センサで先行車を検出できる範囲をドライバに提示するという方式もある。その範囲から外れた車は、たとえドライバの目に見えていても、車載コンピュータにはそれが見えていないことがドライバにわかるからである）。

## 9. むすび

アダプティブ・オートメーションなる名称を用いているか否かは別にして、人の負担を適正化することによってヒューマンエラーの発生を軽減、あるいは、いざというときに機械系が緊急操作を行い、安全性を高めようとするシステムが随所に見ら

れるようになった。今後も実用化を目指した理論的・実験的研究は増えていくと思われるが、どのようなアダプティブ・オートメーションを設計すべきかについては、対象となる個々のシステム特性やそれが置かれる環境、ユーザーの特性等を踏まえた考察が不可欠である。

「人間中心の自動化」は、時として錦の御旗のようにもてはやされることがあるが、何をもって「人間中心の自動化」と称するのかは、実は一様ではない。単に、「最終決定権を持つのは人間でなければならない」という教条的な原理だけを信奉して良い時代は過ぎたといつてよい。また、あらゆる応用分野に普遍的な一般原理が存在すると考えることも安易に過ぎる。航空機には、航空機にふさわしい「人間中心の自動化」があり、鉄道には、鉄道にふさわしい「人間中心の自動化」がある。さらに、それらの交通モードよりもある意味で厳しい条件を課せられている自動車には、自動車にふさわしい「人間中心の自動化」があるはずである。

航空分野は、かねてより高度自動化を進めてきた先達として、人が機械と関わるなかでどのような問題が起こりうるかを教えてくれた<sup>1,2)</sup>。自動車が航空から学ぶところも少なくなかったであろう。しかし、自動車は、ある意味で航空より厳しい条件下での人と機械の協調を探っていかなければならない。その挑戦のなかで、航空分野にとっても参考となるような新しい知見や技術体系が自動車分野から創出されていくものと筆者は考えている。

#### 参考文献

- 1) 稲垣: ヒューマン・マシン・システム- 高信頼性が損う安全性。システム/制御/情報, 41(10), 403-409, 1997.
- 2) 稲垣: 「人間中心の自動化」は何を目指す?。計測と制御, 37(8), 572-577, 1998.
- 3) 稲垣: ヒューマンマシン共生のための知性と信頼, 信頼性(日本信頼性学会誌) 23(2), 167-175, 2001.
- 4) 稲垣: 絶対安全への挑戦—人と協調する支援技術。人工知能学会誌, 17(6), 732-737, 2002.
- 5) Billings, C. E.: *Aviation Automation – The Search for a Human-Centered Approach*. LEA, 1997.
- 6) Dornheim, M: Recovered FMC memory puts new spin on Cali accident. *Aviation Week*, 58-61, Sep 9, 1996.
- 7) Inagaki, T.: Situation-adaptive responsibility allocation for human-centered automation. *Trans. SICE*, 31(3), 292-298, 1995.
- 8) Inagaki, T.: To go or not to go: Decision under time-criticality and situation-adaptive autonomy for takeoff safety. *Proc. IASTED Int. Conf. Applied Modelling & Simulation*, 144-147, 1997.
- 9) Inagaki, T.: Situation-adaptive autonomy for time-critical takeoff decisions. *Int'l J. Modelling & Simulation*, 20/2, 175-180, 2000.
- 10) Inagaki, T.: Situation-adaptive autonomy: Dynamic trading of authority between human and automation. *Proc. IEA2000/HFES2000 Congress*, III.13-16, 2000.
- 11) Inagaki, T.: Automation and the cost of authority, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31(3), 169-174, 2003.
- 12) Inagaki, T.: Adaptive automation for comfort and safety. *International Journal of ITS Research*, 1(1), 3-12, 2003.
- 13) Inagaki, T.: Adaptive automation: Sharing and trading of control. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of Cognitive Task Design*, Chapter 8, 147-169, LEA, 2003.
- 14) Inagaki, T.: New challenges on vehicle automation: Human trust in and reliance on adaptive cruise control systems. *Proc. IEA 2003 (CD-ROM)*, 4 pages, 2003.
- 15) Inagaki, T. & Kunioka, T.: Possible automation surprises in the low-speed range adaptive cruise control system. *Proc. IASTED Int'l Conf. on Applied Modelling & Simulation*, 335-340, 2002.
- 16) Inagaki, T. & Furukawa, H.: Computer simulation for the design of authority in the adaptive cruise control systems under possibility of driver's over-trust in automation. *Proc. IEEE SMC 2004 Conference*, The Hague, 2004 (to appear).
- 17) Inagaki, T., Takae, Y., & Moray, N.: Decision support information for takeoff safety in the human-centered automation: An experimental investigation of time-fragile characteristics. *Proc. IEEE SMC Conf.*, pp. 1101-1106, 1999.
- 18) Moray, N., Inagaki, T., & Itoh, M.: Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *J. Experimental Psychology: Applied*, 6(1), 44-58, 2000.
- 19) Moray, N. & Inagaki, T.: Attention and complacency. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1(4) 354-365, 2001.
- 20) Parasuraman, R., Sheridan, T.B., & Wickens, C.D.: A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, 30(3), 286-297, 2000.
- 21) Scerbo, M.W. et al.: *The Efficacy of Psychophysiological Measures for Implementing Adaptive Technology*. NASA/TP-2001-211018, 2001.
- 22) Scott, W.B.: Automatic GCAS: 'You can't fly any lower.' *Aviation Week and Space Technology*, 76-79, 1999.
- 23) Sheridan, T. B.: *Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control*. MIT Press, 1992.
- 24) Woods, D.: The effects of automation on human's role: Experience from non-aviation industries. In S. Norman & H. Orlady (Eds.). *Flight Deck Automation: Promises and Realities*, NASA CP-10036, 61-85, 1989.