

「人間中心の自動化」は何を目指す？

稲垣 敏之

1. はじめに

「人間中心の自動化」その快い響きは多くの人を魅了する。進歩の著しい科学技術に圧倒され、ややもすれば自信を失いかけていた人間の復権を見るからであろうか。いかに有能なコンピュータといえども人間の上位に立つことは許されず、「最終決定権は人間にある」^{1),2)}ことを高らかに唄ったスローガンは、気分を高揚させる。

「人間中心の自動化」が唱えられて久しい。しかし、それが「何を意味し、何を指しているのか」は明らかではない。

自動化システムの設計にあたり、つぎの2つの案があるとしよう。

A案：人間が命令したことは、確実に実行する。状況に即して「いま、何をすべきか」を人間に提言することもできる。しかし、いかなることも人間の許可あるいは指示がない限り、実行に移すことはない。

B案：人間に命令されたことを確実に実行するだけでなく、人間からの指示がなくても、ある種の条件が揃えば、自律的な行動が可能である。

読者なら、上記の2案のいずれを選ばれるだろうか。「考えられる状況は多様だから、どちらの案が良いかはいちがいに決まらなはずだ」と思われたかもしれない。そのとおりである。

A案に基づく自動化システムは、まさに手足となって人間を助けてくれるありがた

い存在である。動作状況がつねに把握できることは、人間にとって安心でもある。

一方、B案に基づく自動化システムの場合は、人間の状況認識を損う危険性を持つ。しかし、人間の判断エラーを補う可能性も併わせ持つ。

A案、B案はそれぞれに得失があり、優劣はつけ難い。しかし、いわゆる「人間中心の自動化」では、B案は採用されない。「人間の許可を得ることなく、自動化システムが勝手な行動をすることは、かたく禁ずるべきだ」とされるからである。

航空機や原子力プラントなどでは、後に述べるように、「B型の自動化システムなら防げたのではないか」と思われる事故がある。「自動化システムはA型でなければならない」との制約条件のもとで「最適な自動化システム」を見つけようとしても、得られる解には限界がある。

「人間中心の自動化」に対する解釈は人によってさまざまである。たがいに矛盾するような主張も平然と同居している。ただ、そのなかで、「人間中心の自動化」の意味を冷静に問い直そうとする動きが出てきている。

本稿では、どこにも故障のない「健全な航空機」の墜落事故を例にとり、乗員がどのように状況の認識を失っていったか、その背後にどのような要因があったかを探りつつ、今後の「人間中心の自動化」が目指

すべきものと、その実現のための課題を考察する。

2. 人間中心の自動化：その現状

現在の自動化システムは不器用 (clumsy) であると言われる³⁾。人間の負担を軽減するどころか、使い勝手の悪さから、かえって負担を増大させる。不用意なデザインが、ヒューマンエラーを誘発することもある。プラント状態が目標からずれたとき、それがプラント内部の異常に起因するものであろうがなかろうが、黙って (silent) 腕力にものを言わせて (strong) 目標を達成しようとする。また、自動化システム群が複雑に入り組んでいるときは、想像もしないときに想像もしないことが起き、人間を驚かせる (automation-induced surprise)⁴⁾。

このような自動化がもたらした不整合や問題点を解消すべく提唱されてきたのが、「人間中心の自動化」である。これに関しては多くの提唱がある。技術的可能性や経済的理由から自動化を図り、残った仕事を人間に割り当てるのではなく、「人間には、満足感を与えられる仕事や得意な仕事を割り当てなければならない」、あるいは「人間の負担が大きく、処理能力の限界に近づいてきたときは、負担の一部をコンピュータに肩代わりさせる」という、タスク配分的な考え方がある。また、「人間が仕事を容易にできるよう、人間の物理的・知的能力を拡大・補完する」支援に焦点を置いたものもある。さらに、「ヒューマン・エラーを軽減し、人間の操作の変動による影響を最小限に抑えよう」という考え方もある。

さまざまな捉え方が混在するなかで、ほぼ共通して上位に位置づけられる考え方

は、「人間に最終的な決定権を与えよう」というものである。例えば、Billings²⁾は、航空運航・管制に関する「人間中心の自動化」を表1のようにまとめている。

表1 人間中心の自動化²⁾

-
- 前提：人間は運航安全に最終責任を持つ。
 公理：人間は指揮権を持たねばならない。
 帰結：
- (1) 人間は決定に直接関与していなければならない。
 - (2) 人間には情報が適正に提供されなければならない。
 - (3) 自動化システムの様子を人間がモニタできるようにしていなければならない。
 - (4) 自動化システムも人間をモニタできるようになっていなければならない。
 - (5) 自動化システムの行動は人間にとって予測可能なものでなければならない。
 - (6) 人間と自動化システムはたがいに相手の意図を知ることができなければならない。
-

航空機や原子力プラントなど、大規模システムの監視制御では、人間は、自動化システムによる制御が適正であるか、制御対象や自動化システムに異常は生じていないかを常時監視している。表1の「帰結」の各項は、人間が高い状況認識 (situation awareness: SA) を持てるようにすべきことを主張している。

「状況認識」は、3つのレベルに分けて考えるとわかりやすい⁵⁾。監視を続けているとき、もし、何か変なことが起こっていることに気づくと (レベル1)、注視点を制

御して、さらに詳細な監視に移行する。何が起きているか、その原因が何であるかが分かると（レベル2）、これから何が起こるかを予測し（レベル3）、それに応じた最適な対処法を定め、適切なタイミングを見計らって自動化システムの制御ループに介入する。状況認識の確保は、適切な意思決定を実現するための必須条件である。

しかし、後に航空事事故例で見ると、さまざまな要因によって状況認識はたやすく失われ、それは誤判断や誤操作、あるいは対応操作の遅れとなって現われる。航空事事故に関しては、「事事故原因の70～80%はパイロットの判断や行為のエラーである」⁶⁾と言われることもある。ただし、これはひとつの事事故に対してひとつの「主原因」を特定する航空事事故調査の形態を反映したものであることに注意しておかなければならない。機体を直接操作できるのはパイロットであり、事事故を回避すべく、最後まで闘う（闘わされる）のもパイロットである。パイロットの判断や行為が表舞台に立つのは必然的である。

しかし、事事故は単一の原因で起こることは稀であり、不適切なシステム設計、インタフェース設計の不良、機器故障、整備不良、複数の人間のエラー、組織の安全文化、法的・制度的問題など、多様な要因・背景が重畳して発生する。信頼性工学でのこのような「常識」を考慮して、ひとつの事事故に対してひとつの主原因を対応させる方式ではなく、事事故に関与した要因はすべて数え上げる方式⁷⁾で統計を取り直せば、事事故原因をオペレータ（パイロット）の判断や行為のエラーに帰すことの不適切さが明らかとなる。

そうすると、表1の「前提」と「公理」の妥当性が気になってくる。すなわち、「オペレータ（パイロット）に指揮権を与えるが、そのかわりに最終責任も取らせる」のを当然のこととしてよいのだろうか。

何をしても責任を取らなくてよい「無責任体制」を主張することは誤りである。しかし、その場に居合わせたオペレータ（パイロット）がどのように有能な人であっても、打開が困難な状況は存在する。オペレータ（パイロット）が直接関与しないところで事事故要因が形成され得ることも周知の事実である。それでもなお、事事故を防ぐことができなかった責任をオペレータ（パイロット）に問うのだろうか。

もしそうなら、「人間中心の自動化」は、平常時には人間にアメを与えるような顔をしているが、緊急時にはムチを持ち、牙をむき出して、その人間に襲いかかってくるものだといえる。われわれが求める「人間中心の自動化」は、そのようなものではないはずである。

3. CFIT：何としても避けたい事事故

どこにも異常のない「健全な航空機」が、順調に飛行を続けているうちに地表面や水面に衝突する事事故をCFIT（controlled flight into terrain）と呼ぶ。GPWS（対地接近警報装置）の導入で大幅に減少したとはいえ、過去10年の間に平均して年4回程度のCFITが発生しており、その死者数は、航空事事故による全死亡者の過半数に及ぶ。

CFIT事事故はそのほとんどが、着陸進入時に発生しているが、事事故原因についてはつぎのようなデータがある⁸⁾。

(1) GPWS警報が出なかった 38%

(2) GPWS 警報の出るのが遅かったか、パイロットの対応が不適切であった(回復操作が遅すぎた、判断に手間取った、警報を無視した、等) 32%

(3) GPWS が装備されていなかった 30%

このデータは CFIT 問題の難しさを示している。ここで若干の説明を加えておこう。

(1) の「GPWS 警報が出なかった」ことは、いわゆるセンサ故障を意味するものばかりではない。機体針路前方に切り立った山や崖が突然出現するような場合、通常の GPWS はそれを検知できない。鉛直方向の地表面の存在を検知する仕組みを採っているからである。また、フラップを出し、車輪を降ろした状態で緩やかな降下を続けていると、GPWS は「この機は着陸するはずだ」と判断する。このとき、たとえ目指しているのが滑走路でなくても、警報は出ない。

(2) の GPWS 警報への「対応の遅れ」も、単純なヒューマンエラーとは言いがたい。

「GPWS のプルアップ警報が出たときは、いかなる分析・解釈も行うことなく、条件反射的に最大推力で上昇」しなければならない⁹⁾。しかしこの行動は、「つねに思考を巡らせ、正しい状況認識を獲得せよ」との、監視制御系の管理者(人間)に求められる行動とは整合的でない。人間に、相容れない複数の行動様式を持たせ、「場合によってそれらを使い分けよ」と要求するには無理がある。頻繁に用いる行動様式が、稀にしか用いないものを「乗っ取る」のは自然であろう。

(3) の「GPWS の未装備」は、かつて GPWS に誤報が多かったことにも遠因があるが、現在、民間航空機のなかで GPWS 未装備

機は数%にすぎない。これらが引き起こす事故の比率の大きさを考えると、(3) は組織の安全文化あるいはマネジメントのエラーといえよう。

4. 事象連鎖の中での状況認識喪失

つぎに挙げるのは、1995年12月に起きた B757 による CFIT 事故事例である。この事故の一部は文献¹⁰⁾に示したが、ここでは、状況認識の喪失に至った背景を含め、事故に至った過程^{11), 12)}をやや詳細に記してみよう。

アメリカン航空 965 便はマイアミを発ち、コロンビアのカリへ向けて飛行していた(図1)。着陸に備えた準備中に、管制官からの要請で、着陸予定滑走路(runway: RWY)を「01」から「19」へ変更することになった。

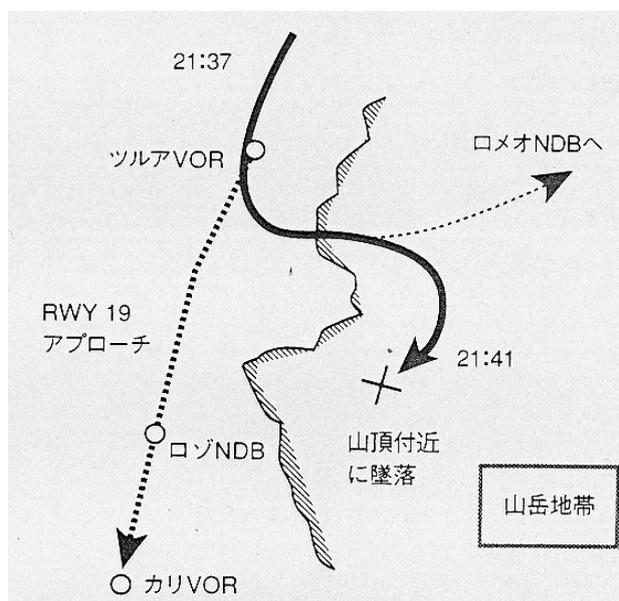


図1 アメリカン航空 965 便の航跡(文献 11)に基づく)

RWY 01 へは ILS を用いたアプローチが

可能である。これは、ローカライザ（滑走路の中心から左右のずれを知らせる電波）、マーカー・ビーコン（滑走路端からの距離を示す電波標識）、グライドパス（着陸予定点への進入角を示す電波）を用いて、一定の角度で降下する方式である。この方式で CFIT 事故が発生する可能性は小さい。

これに対し、RWY 19 への着陸は VOR - DME による方式となる。すなわち、無線標識施設（VOR）と距離測定装置（DME）によって、磁北からの方位、機体と地上局との距離を知り、着陸予定点までの経路上にいくつか定めた目標となる点で段階的に高度を下げていく方式である。

管制官からの滑走路変更の打診があったとき、965 便ではすでに RWY 01 への着陸準備は整っていたが、機長は RWY 19 への変更を受け入れた。着陸までの時間が短い RWY 19 を使うことで、マイアミでの出発の遅れを取り戻そうとしたのではないかと考えられている。RWY 19 への変更に伴い、当初の予定より高度を早く下げる必要が生じ、スピードブレーキ（スポイラ）が使われた。

VOR - DME 方式では現在位置の認識が重要であるが、乗員はその認識を失いつつあった。965 便の飛行位置からカリ空港までの経路上にはツルア VOR とロゾ NDB（無線標識）の2つの目標地点があり、すでに機はツルア VOR 付近に到達していたが、乗員はそのことに気がつかなかった。数分前に管制官が「カリへの飛行」を許可し、「ツルア VOR 通過時に連絡せよ」と指示したとき、機長は「カリへの直行」を指示されたと勘違いし、フライト・マネジメント・コンピュータ（FMC）に「カリへの直行」を入

力したため、ツルア VOR はディスプレイに表示されなくなっていたのである。

そこで、機長はロゾ NDB をつぎの目標地点とすべく、ロゾの認識符号「R」を FMC に入力し、実行モードにした。その途端、機は左旋回を始めた。FMC は「R」を進行方向左手約 130 マイルにあるロメオ NDB と解釈したからである。チャートにはロゾは「R」と表示されているが、FMC のデータベースには「ROZO」として登録されていた。しかし、識別符号の登録の不整合を知らされていない乗員は、自動化システムが何をしようとしているのか全く理解できなかった。

（ただし、その後の調査では、もしマップディスプレイを適切な尺度で表示しておれば、FMC に「R」を入力したとき、大きく左へ旋回する航路が図示されるのが見え、問題点に気づくことができたはずだとされている¹¹⁾。）

機長は、FMC による水平面内航法（L-NAV）モードから機首方位を自由に設定できるモードに変更し、右旋回して自機を航路へ復帰させようとした。また、ツルア VOR を目指すよう FMC に指示したが、L-NAV モードが解除されていたため、機はツルアへは向かわなかった（モード認識の喪失）。こうして位置の認識を喪失したまま山岳地帯に迷い込むうち、GPWS が警報を発した。乗員はただちにオート・パイロットを外し、最大推力で機首を上げて危機を回避しようとしたが、スピードブレーキを格納するのを忘れたため、10 数秒後に山に墜落した。

965 便の CFIT 事故は、多様な事象の連鎖のなかで、いかに簡単に状況認識が失われるかを物語っている。状況認識喪失の背景には、さらにつぎのような要因もあっ

た。

(1)「カリへの飛行許可」を「カリへの直行許可」と勘違いした機長の復唱を、管制官は訂正しなかった。複数人間が複数のエラーを犯し、それらに気づかないケースは、他のいくつかの航空事故でも見ることができる。

(2) FMC のデータベースには「R」の識別番号を持つ地点は12カ所あった。FMCは、目標地点の候補として可能性が高いものから順に乗員に提示したが、それらの地点は名称ではなく緯度・経度の組で表示された。このような情報伝達は人間にとってわかりやすいものではない。しかも、このとき最上位に表示されたロメオと本来の目的地点ロゾの緯度・経度は、1～2度の違いしかなかった。

5. 状況認識の支援

的確な状況認識を長時間にわたって保持するのは容易ではない。「異常が発生したら警報が鳴るだろう」という、人間と警報システムの主客転倒も起こりうる¹³⁾。

「異常」の定義も難しい。「パラメータ(あるいはそれらの組)が一定の条件を満たすこと」を「異常」と定義するにしても、「一定の条件」はどのように決めればよいのだろうか。安全を重視して条件を設定すると誤報が発生する。誤報を減らそうとしきい値を高め設定すると、異常の検知・通報が遅れ、「明らかに異常が発生していると誰もがわかる頃になって、やっと警報が出る」ことになる。情報の確からしさと、提供のタイミングの適否は、両立するとは限らない。

技術的理由により、従来のGPWSが機体

針路前方の切り立った山や崖を検知できないことはすでに述べた。この問題への対策が、機能強化型(enhanced)のGPWS、すなわちEGPWSの開発であった⁸⁾。

EGPWSは、鉛直方向だけでなく、水平方向の地表面検出機能を持ち、内蔵の地形データベースを参照することにより、針路前方の地表面への接近警報を出すことができる。また、機体周辺の地表面を、機体との高度差に応じて色と密度を変えてディスプレイ表示することも可能である。さらに、「着陸体勢にある」と判断される状況では警報を出せない現在のGPWSの欠点も補うための「危険高度通報機能」も備えられている。

6. 高度自動化の是非

しかし、「状況認識さえ支援しておけば、それで万全」というわけではない。「それでも状況認識に失敗する」可能性も想定しておく必要がある。

965便のケースでは、GPWSが警報を発したときの乗員の対応は迅速であった。「スピードブレーキを格納し忘れることさえなければ、CFIT事故は避けられたであろう」とされる¹²⁾。

ふつう、「最大推力の使用」と「スピード・ブレーキの使用」は両立しない。したがって、「乗員は最大推力で機首上げを行っているが、スピードブレーキは出されたままになっている」ことを検知したとき、乗員からの明示的な命令がなくても、自律的にスピードブレーキを格納するような自動化システムがあってもよいはずである。

実は、人間の命令を待たずに自律的に安全制御を行う自動化システムは、すでに存

在する。航空機は、速度が増すと揚力が増加するため、水平飛行を保つには操縦輪を前に押さなければならない、しかし、速度が臨界マッハ数を越えると、機首下げモーメントが発生する（タック・アンダー）。したがって、今度は逆に操縦輪を引かなければ水平飛行を続けることができない。タック・アンダー現象は、機体の安定性を損うものとして恐れられていたが、現在では、マッハ・トリム・システム（安定増加装置）が自動的に昇降舵の操舵力を補正することで、人工的に機体の安定性を正にしている¹⁴⁾。人間から明示的な命令を受けないこの自動化システムが、航空機の安全に寄与していることは明らかである。

「指揮権を人間に与える」ことにこだわっていると、必ずしもシステム安全は確保できない。表1の帰結(4)が述べているような、「自動化システムが人間の操作をモニタできるようにする」ことの必要性は、人間の操作に「標準的」でないものがあつたとき、それを人間に知らせ、修正を助言することにある。時間にゆとりがあれば、人間からの了承あるいは返答を待つこともできようが、緊急の場合は別である。

7. さまざまな「信頼」

人間はどのようなときに、「命令を待つことなく自律的な行動をとる自動化システム」を許容するのだろうか。ここで問題になるのが、自動化システムへの信頼である。

「信頼できない」と感じられるシステムなら使わないであろうし、そのようなシステムの「助言」も無視するだろう。一方、「これは信頼できる」と思ったシステムには、盲信とも言えるほど過大な期待を抱く

ことがある。誤った信頼、すなわち過信と不信の交錯する中で、さまざまな事故が発生してきた¹⁰⁾。

Sheridan & Ferrel は、古くから「自動化システムに対する人間の信頼」を監視制御系のなかでの重要な項目として位置づけていた¹⁵⁾。この問題は、特に近年、認知心理学や航空心理学者の興味を引き、多くの研究が発表されるようになってきている^{16), 17)}。

ここでいう「信頼」に対応することばは、「trust」である。trust には、いくつかの「次元」がある。Lee & Moray は、trust に関するいくつかの代表的な研究を体系化し、つぎの4つの次元を提案している¹⁸⁾。

- (1) 基礎：自然界を支配する法則や社会の秩序に合致していること
- (2) 能力：終始一貫して、安定的かつ望ましい行動・性能が期待できること
- (3) 方法：行動を実現するための方法・アルゴリズム・規則（ルール）が理解できること
- (4) 目的：上記の背後にある意図・動機が納得できるものであること

つまり、「つねに一貫した動作を反復するものであっても、それを支える論理が誤っているものは信頼できず、また、たとえ論理的な誤りはなくても、正しい目的意識に支えられていると思えないものは信頼できない」ということである。

trust には、時間的な側面がある。過去から現在に至る時間の流れの中で、一貫した行動がとられてきた様子が観察できると、「これからも今までと同じように行動してくれるだろう」と予測あるいは期待することができる。時間が経過していくうちに、行動を支配している規則が理解できるよう

になり、さらにその背後にある動機づけや意図が理解できるようになると、信頼は確固たるものとなる。

意図や動機のレベルまで信頼できるようになった状況を、「faith」ということばで表現することがある。ただし、faithには「根拠のない一方的な信頼」という意味もある。すでに築き上げた信頼が強固なものであると、現在の状況がはたしてその信頼に値するものかどうかのチェックを怠り、過信や警戒心の欠如 (complacency)¹⁶⁾ を招くこともある。

自動化システムが人間の信頼を勝ちとるには長い時間がかかる。しかし、人間社会で見られる現象と同じように、何らかの要因で信頼が損なわれると、その回復にはかなりの時間がかかることが実験的に確かめられている¹⁸⁾。ただ、自動化システムを使うか否かは、自動化システムへの信頼のみでは決まらない。例えば、自動化システムの能力よりも自分の能力のほうが優れていると思えば、その人は自分でタスクを実行しようとするだろう。また、絶対的な信頼が置けるとはいえない自動化システムであっても、その支援を全く受けることなく自らの力だけで事態を乗り切るだけの確固たる自信がなければ、人は自動化システムにも頼らざるをえない¹⁹⁾。

すなわち、自らの能力への自信、自動化システムへの信頼のほかにも、与えられたタスクの複雑さ、ワークロードや状況リスクの知覚なども、自動化システムへの依存に関与する要因がある。現在、フィールドスタディや実験を通じて、これら要因相互関連の解析とモデル検証が進められている

16), 17), 18), 19)

8. あとがき

「人間中心の自動化」の分野では、「人間が最終決定権を持つべきだ」との考え方が根強い一方で、「緊急性の高いときの自動化システムの有効性を見直す必要があるのではないか」との考え方も、徐々に広がりつつある²⁰⁾。これは、人間と自動化システムとの役割分担の柔軟化、あるいは自動化レベルを可変にすることを意味する。

人間と自動化システムのタスク配分を動的に変化させる考え方は、新しいものではない。定性的な観点からの主張だけでなく、待ち行列理論などを応用したモデルも古くから知られている。最近では、オペレータからのニーズ (発話、生理指標、心的負担指標などから推定)^{16), 17)}、あるいは数理モデル²¹⁾に基づいて自動化レベルを動的に調整する機構を、認知心理学的アプローチから検証・評価しようとする研究も盛んになってきた。

ただし、「人間から自動化システムに最終決定権を委譲してよいかどうか」に踏み込んだ議論は、定性的なものを除けば、数理モデルに基づくもの^{21), 22)}、あるいは実験的に検証したもの^{19), 23)} などがあるだけである。

航空機の場合、特に緊急性の高いケースとして、つぎの3つがある。(1) V1 近辺での離陸継続/中断の決定、(2) 低高度でのウィンドシアからの回避、(3) GPWS 警報発生時の対応。このような、瞬時の判断・操作が要求されるケースでは、「支援システム」と「自動化システム」の境界の設定、すなわち最終決定権の所在が問われることになり、高度自動化の有効性に関する研究も始まっている^{22), 24), 25)}。

状況に適応して自動化レベルを変える形態が、「人間中心の自動化」における有力な骨格となるには、まだ多くの研究が必要である。技術面而言えば、「現在、どの自動化レベルにあるか」、「どのような条件が成立したとき、どのようなタイミングで、どの自動化レベルに切り替わるのか」などの状況認識をいかに支援するかが課題となる。

「状況認識の支援」と「自動化による支援」のいずれが欠けてもシステム安全は確保されない。さらに、これらの支援形態を、人間に受け入れられるようなものとするには、人間の心の動きに関するさらなる研究が必要である。

もとより本稿の記述ならびに考察に関する全責任は筆者にあるが、全日本空輸、日本エアシステム、日本航空のエアライン3社の乗員ならびに技術部門の方々との研究交流に負うところは大きい。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) D.D. Woods: The effects of automation on human's role; NASA CP-10036, 61/85 (1989)
- 2) C.E. Billings: Human-centered aircraft automation; NASA TM-103885 (1991)
- 3) N. Sarter and D.D. Woods: Strong, silent, and out-of-the-loop; CSEL 95-TR-01, The Ohio State University (1995)
- 4) Studies highlight automation 'surprises'; Aviation Week, 48/49, Feb 6 (1995)
- 5) M.R. Endsley: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems, Human Factors, 37-1, 32/64 (1995)
- 6) Statistical Summary of Commercial Jet Aircraft Accidents, Boeing (1995)
- 7) 全日空総合安全推進委員会: ヒューマンファクターズへの実践的アプローチ (1993)
- 8) B. Bresley & J. Egilsrud: Enhanced Ground Proximity Warning System, Safety Bird, 33, 12/22 (1997)
- 9) Pull Up! Pull Up! - CFIT 事故防止に関する FSF IAC Task Force の活動報告から, Flight Safety, 89, 24/29 (1993)
- 10) 稲垣: ヒューマン・マシン・システムー高信頼性が損う安全性, システム/制御/情報, 41-10, 403/409 (1997)
- 11) Recovered FMC memory puts new spin on Cali accident; Aviation Week, 58/61, Sep 9 (1996)
- 12) 北口: 航空事故調査報告書: カリ(コロンビア)でCFIT, 安全飛行, 186, 2/9 (1997)
- 13) Billings: Aviation Automation, LEA (1997)
- 14) Human Factors Digest No. 5: Operational Implications of Automation in Advanced Technology Flight Decks, ICAO (1992)
- 15) T.B. Sheridan & W. Ferrel: Man-Machine Systems: Informaion, Control, and Decision Models of Human Performance, MIT Press (1974)
- 16) M. Mouloua & R. Parasuraman (Eds): Human Performance in Automated Systems: Current Research and Trends, LEA (1994)
- 17) R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds): Automation and Human Performance, LEA (1996)
- 18) J. Lee & N. Moray: Trust, control strategies and allocation of function in human machine systems; Ergonomics, 35-10, 1243/1270 (1992)
- 19) T. Inagaki, N. Moray, M. Itoh: Trust and time-criticality: Their effects on the situation-adaptive autonomy; Proc. AIR-IHAS

(1997)

20) T.B. Sheridan: Human-centered automation: Oxymoron or common sense?, Proc. IEEE Int'l Conf. SMC (1996)

21) T. Inagaki: Situation-adaptive responsibility allocation for human-centered automation, 計測自動制御学会論文集, 31-3, 292/298 (1995)

22) T. Inagaki: To go or not to go: Decision under time-criticality and situation-adaptive autonomy for takeoff safety, Proc. IASTED Int'l Conf. Applied Modelling & Simulation, 144/147 (1997)

23) Endsley: The out-of-the-loop performance problem: Impact of level of automation and situation awareness, In. Mouloua & Parasuraman (Eds): Human Performance in Automated Systems: Current Research and Trends, LEA, 50/56 (1994)

24) T. Inagaki: Situation-adaptive autonomy: Trading control of authority in human-machine systems, (Invited talk), Int'l Symp. Human-Machine Systems - In Honor of Career of Prof. T.B. Sheridan, Dec. 4-5, Endicott House, MIT (1997)

25) New research identifies causes of CFIT; Aviation Week, 70/71, Jun 17 (1996)