

ヒューマンマシンシステム：高信頼性が損なう安全性

筑波大学電子・情報工学系

稲垣敏之

1. はじめに

「どのようにすれば、信頼性の低い要素を用いて信頼性の高いシステムを構成することができるか」を原点として、信頼性工学の歴史は始まった。今では、複雑で多様な機能を持ち、しかも信頼性の高い大規模なシステムが身近な存在となっている。システムを構成する要素の中には「エージェント」と呼べるものさえ存在し、システムの機能を十二分に発揮できるような様々な工夫もこらされている。

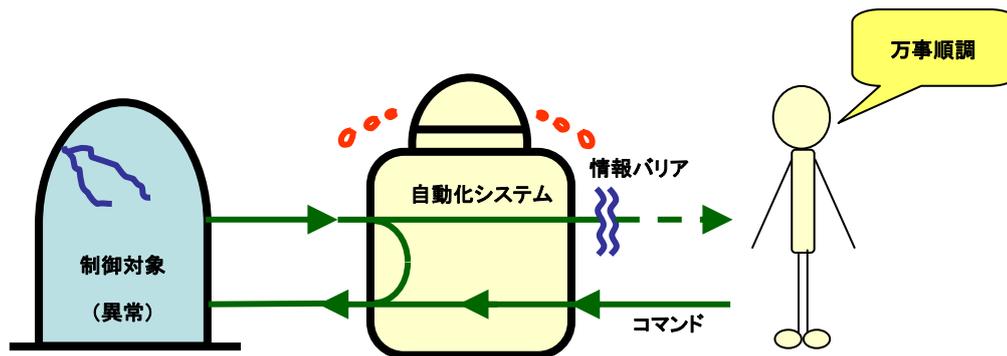
しかし、最先端の科学技術が駆使され、高い信頼性を誇るこのようなシステムに、なおも事故は発生している。どこに問題があるのだろうか？

1960年代半ば頃から70年代前半にかけて研究が進展した信頼性理論は、数学的に美しい体系を持つ。ここで考察の中心になったシステムは、システム構成要素の故障がいくつか重なると、システム故障が発生するという、単調性を基盤に置いたコヒレント・システムであった¹⁾。70年代も末になると、必ずしも単調性が満たされないシステムを考察する必要性が指摘されるようになった。正常な要素の存在がシステム故障に寄与するシステムがそれであり、非コヒレント・システムと呼ばれる²⁾。センサ情報に基づきコンピュータが対象を制御するシステムは、基本的には非コヒレント・システムである³⁾。

ヒューマン・マシン・システム、特に原子力プラント、化学プラント、航空機、生産システムなど大規模なものは、コンピュータを核とする様々な自動化システムによって制御されている。その意味で、これらのシステムは、非コヒレント性を持つと言える。しかし、それをはるかに越える多くの側面も持っている。

システムを構成する要素間の緊密なカップリングにより、単一の要素に生じた状態の変化は、システムの広範囲にわたって伝播する。しかし、どこへどのように伝播し、伝播先でどのような反応が起こるのかを正確に見極めることは難しい。伝播の影響は、ただちに顕在化するとは限らず、長い潜伏期間を伴うこともある⁴⁾。後に述べるように、事故は必ずしも要素の故障が引き金になるとは限らず、全く故障がなくても事故が起こることすらある。ヒューマン・マシン・システムの信頼性・安全性の確保は最重要課題のひとつではあるものの、従来のシステム信頼性理論では、まだ十分にカバーされていない領域であると言えよう。

航空分野のヒューマン・ファクタ研究から提唱されたSHELLモデル⁵⁾では、ヒューマン・マシン・システムにおいて、人間(ライブウェア:L)は、ソフトウェア(S)、ハードウェア(H)、環境(E)、他の人間たち(L)に取囲まれていると考える。これらの要素相互間の界面(インタフェース)に不



第1図 自動化システムによる異常の隠蔽

整合があれば、それが事故を引き起こす原因となりうる。本稿では、要素間のインタフェースの不整合が、いかにシステムの状態の認識や直面している状況の把握を困難にするかを、いくつかの航空事故事例をもとに考察し、ヒューマン・マシン・システムの信頼性・安全性の向上へ向けた課題を明らかにする。

2. ポーカーフェイスの自動化システム

現在の航空機には、さまざまな自動化システムが装備されている。例えば、飛行姿勢に「ずれ」が生じると、補助翼、昇降舵、方向舵などを自動的に操作して元の姿勢に戻すオート・パイロット、希望速度を指定すれば、加速度、減速度を感知してスラスト・レバーを自動的に調整するオート・スロットル、これらを結合させて、進入、フレア（接地前の機首上げ）、接地を自動的にを行い、悪天候下での着陸も可能にする自動着陸装置などがある。ここでは、コンピュータは「制御装置」として重要な役割を演じている。

グラス・コックピット機では、コンピュータは「飛行管理装置」あるいは「性能管理装置」として、より大きな役割を果たしている。すなわち、飛行ルート、飛行性能、エンジン性能に関するデータベースを持ち、

機体重量、外気温度、気圧、風などの情報をもとに、離陸速度、上昇速度、巡航速度、高度、降下開始地点などを計算し、オート・パイロットやオート・スロットルを介して航空機を制御することができる。

これらの自動化システムが運航の安全性向上に寄与していることは、事故統計⁶⁾から読み取ることができるが、その一方で、自動化システムの高信頼性、多機能性、自律性ゆえの新しい問題が生じていることも事実である^{7) - 9)}。

人間の指令に基づいてコンピュータがシステムを制御する形態を監視制御¹⁰⁾と呼ぶ。コンピュータがシステムを制御しているときの人間の役割は、目的通りの制御が行われているかどうかの「監視」と、異常発生や目的達成時での「介入」である。現在の航空機も、監視制御モデルで説明することができる。

航空機は、離陸フェーズを除けば、巡航から着陸に至るまで、自動化システムに担当させることができる。自動化システムは、ひとたび人間から指令を受けると、長時間にわたり、さまざまなタスクを自律的に実行することができる。制御対象としての航空機の信頼性は向上し、もはや異常や故障は稀にしか発生しない。このような状況で、コンピュータによる制御の様子の監視を続

けることは、単調で退屈なものとなる。

制御装置としての自動化システムは、機体に生じた異常を隠蔽するほどの強力な制御能力を持つ。その異常に対抗するために、自動化システムがどれほど大きなフィードバック制御をかけているかは、よほど注意しないと自ら制御操作を行わない人間には実感することはできない(第1図)。このことは、1985年、サンフランシスコ沖を第4エンジン故障のまま自動操縦モードで航行していたB747が、オート・パイロットを解除した途端、ほとんど機体が裏返った格好で10,000m失速降下した事故にも現われている¹¹⁾。

自動化システムが長時間にわたり多くのタスクをこなし、異常が発生しても与えられた命令を守ろうと、黙々と困難な仕事に立ち向かっているとき、人間は蚊帳の外にいる。自動化システムの意図を解しかね、往々にして「いったい何をしているのだ?」「なぜこんなことをしているのだ?」「つぎは何をするつもりだ?」などのことばが発せられる⁹⁾。

複数の自動化システム間で多様な相互作用があり、それぞれの自動化システム自体が複雑な動的システムであると、自動化システムに対するメンタルモデルの構成は困難になる。加えて、自動化システムの動作状況を知らせる情報のフィードバックが欠落すると、人間は「状況認識」を喪失する。

3. 状況認識とは?

ヒューマン・ファクタを扱う論文によく現われるキーワードに situation awareness がある。日本語では「状況認識」と訳されることが多いが、「何かが起こっている」ことに気づき、「何が原因で起こった」かを把握し、「これからどうなる」かを予測

できることをいう¹²⁾。適確な状況認識は、監視制御における重要課題である。現在起こっている現象が自分の目的にどのような影響を及ぼすかを把握し、「介入すべきか、放置して良いか」を判断しなければならない。介入のタイミングや新しく設定されるゴールの適否も、すべて状況認識の可否にかかっている。

状況認識を阻害する要因は、人間一般の特質によるもの、インタフェース設計に関連するものなど、多様である。例えば、人間には、嬉しくない情報は無視しようとする性質がある。対地接近警報装置(GPWS)は、着陸状態でもないのに航空機が地表に接近したり、降下率が大きすぎるなど、何通りかのパターンを検知したとき、音声と警報灯で操縦士に注意を促す装置であるが、警報が出ても、「これは誤報だ」と言いつつ、何の回避操作もしないまま墜落した例がある¹³⁾。

システムが長い間トラブルもなく稼働していると、「このシステムは安全だ」という妙な安心感が生まれ、警戒心の欠如(compacency)^{14), 15)}が起こる。これは、遭遇する可能性のあるリスクの過小評価や軽視・無視につながる。なお、信頼性の実績がなくても安全を過信することもあり、豪華客船事故になぞらえ、タイタニック効果¹⁵⁾と呼ばれている。

インタフェース設計に関しては、情報フィードバックの質が問われる。システム状態を表わす情報は、「提供すればそれで良い」のではなく、人間に明確に訴える力がなくてはならない。空間的・時間的に散乱したデータを人間自身が統合しなければならないようでは、正確な状況認識はおぼつかない。

コンピュータ依存型の多機能インタフェ

ースにおける「モード」の多用も状況認識を阻害する⁹⁾。モードは、ひとつの目的を達成するにしても、場面や好みなどに応じて、実行手段の使い分けができるように導入されたものである。例えば、航空機の降下時は、毎分何フィート (ft) 降りるかを指定する「降下率モード」、降下径路が水平方向となす角を指定する「降下角モード」などが利用できる。

モードが複数存在すると、実行時の柔軟性は高まるが、モードの認識を誤る可能性も高くなる。降下角モードと降下率モードを誤認した1992年1月のエアバスA320事故⁶⁾は有名であるが、モード理解失敗による航空事故は、この他にも多い¹⁷⁾。

多様なモードの中にはふだん使わないものもあり、すべてのモードのメンタル・モデルが正確に構成できるとは限らない。「いつ、どのような状況で、どのモードを使うべきか、どのようにそのモードを設定すればよいか、状況変化に応じて、いつ新しいモードに変更すればよいか」を判断することは難しい¹⁸⁾。インタフェース設計に配慮がなければ、「どのモードが今アクティブなのか」わからないこともある。

4. オートメーション・サプライズ

上に述べた状況は、人間がモード切替えを指示する場合の話である。しかし、設計段階でプログラムされた指示に基づき、人間の意図せぬ時にコンピュータがモードを変えることもある。

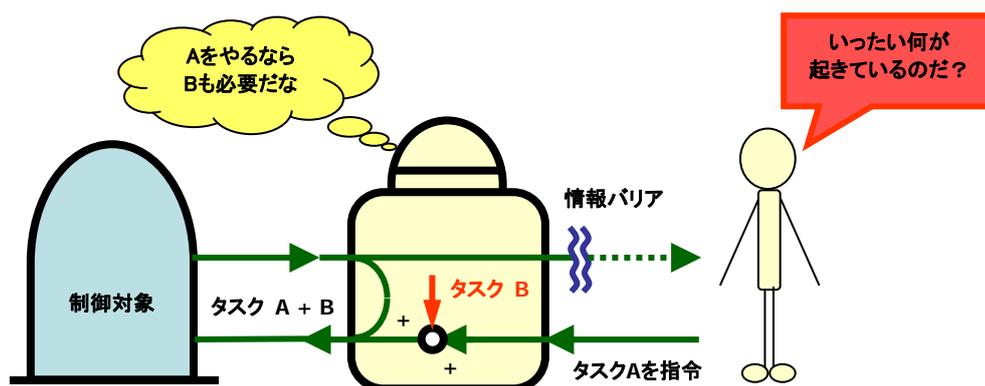
1994年6月30日、ツールーズでテスト飛行中のエアバスA330が、離陸まもなく異常な機首上げを起こして墜落した。このときは、オート・パイロットによる操縦のもとで、着陸復行後のエンジン故障を模擬したテストが行われようとしていた。

事故のあらまはつぎのようなものである^{17), 19) - 21)}。

離陸6秒後、オート・パイロットがエンゲージされた。オート・パイロットは離陸・着陸復行モードにあり、「高度2,000ftのレベル・オフ (水平飛行)」がセットされていた。乗客を載せない機体は軽く、毎分6,000ftの割合での上昇が始まった。オート・パイロットは「水平飛行へ円滑に移行するには、高度950ftでレベル・オフ操作を開始する必要がある」と計算し、離陸8秒後、その操作を自動的に開始するモード (ALTSTAR モード) に入った。このとき、オート・パイロットは、各時刻で上昇率はいくらでなければならぬかを計算し、表を作成していた。毎分6,000ftの上昇率が確保できた時点で計算されたこの表が、後に問題を起こすことになる。

機長は、オート・パイロットがALTSTARモードに入ったことに気づかないまま、左エンジンをアイドルに絞り、エンジン故障を模擬した。エンジン1つ (A330は双発機) では毎分2,000ftの上昇しかできなくなったが、オート・パイロットは、表に記載されたとおりの上昇率を確保しようと、機首を上げた。ピッチ角が30度に近づいた離陸16秒後、「いったい何が起きているのだ？」との機長の声が録音されている。ピッチ角が31.6度になった頃、「これはおかしい」と言って手動操縦に切替えたが、推力の不均衡から大きく左に傾斜した機体を立て直すことはできなかった。

上の例では、機長の指示を待たず、自動的にALTSTARモードに切替わっており、あたかもコンピュータが、人間の意図や指令とは全く独立に、自らの意思に沿って行動しているかのように見える (第2図)。操縦士の立場から見たとき、これをオートメー



第2図 気を利かせる自動化システム

ーション・サプライズ (automation surprise) ^{22) - 25)} という。オートメーション・サプライズもモード理解に関する困難さに起因するものであり、自動化システムに対する設計者のメンタルモデルとユーザー (操縦士) のメンタルモデルとの間のギャップによって生じる。上述の事故は、自動化システムの意図を人間に明確に伝える情報フィードバックの欠落を示すものとも言える。

トゥールーズの事故には、自動化システムの論理の不備も関連している²⁰⁾。A330には、人間が機体を失速させようとしても、許容範囲を越える操作はコンピュータが阻止する機能が備わっている。異常な機首上げを抑制する機能もそのひとつであるが、ALTSTAR モードのなかではその機能は働かなかった。また、このモードでは、オート・スロットルが速度を制御していることが前提とされているが、エンジンひとつでは、その仮定は満たされなかった。

いわゆる故障や異常とは異なり、オートメーション・サプライズは、条件が整えば確定的に発生する。

5. 人間と警報システムの主客転倒

警報システムの過信も、警戒心を失わせ、

状況認識を喪失させる。制御対象が複雑化すると、長時間にわたる状態把握が困難となり、「重要なパラメータの監視は警報システムに任せよう。異常が起これば、警報で鳴るはずだ」ということにもなりかねない。人間と警報システムの主客転倒である。すなわち、人間は、補佐役であるはずの警報システムに判断を仰ぐことになる。確かに警報システムの信頼性は向上していると言え、決して故障しないとは言いきれない。

1987年8月、デトロイト・メトロポリタン空港を離陸したDC-9は、十分な高度が得られず、滑走路端前方にある照明灯に衝突して墜落した。離陸時には当然出されているはずのフラップとスラットが出ていなかったためである。ふつう、離陸時にこれらが出ていないときは、「フラップ」「スラット」という音声警報が出る。この警報システムの信頼性は高く、乗員の支持を得ているとされるが、このケースでは不作動故障を起こした²⁶⁾。人間の警戒心が欠如しているなかで、警報システムの欠報モード故障が起こると、重大事故に至る典型例である。

6. どこも故障していないのに！

健全な航空機が地表面や水面に衝突する

事故を CFIT (controlled flight into terrain) と呼ぶ。CFIT も、状況認識の喪失が関連して発生する²⁷⁾。

1995年12月、マイアミからカリ(コロンビア)へ向けて飛行していた B757 が CFIT を起こした

²⁸⁾。出発が遅れていたことに加え、着陸滑走路が変更されたため、乗員は一層時間的余裕を失い、為すべきいくつかの操作を実行しなかった。さらに、管制官は「カリへの飛行」を許可し、「ツルアの無線標識(VOR)通過時に連絡せよ」と指示したが、機長は「カリへの直行」を指示されたと勘違いした。また、機長は勘違いのまま復唱したが、管制官はそれを訂正しなかった。コンピュータに「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かった。乗員はツルア通過に気がつかないまま、つぎの目標地点ロゾ(Rozo)の識別符号のつもりでコンピュータに「R」と入力したところ、機体は左旋回を始めた。コンピュータのデータベースには、ロゾは「ROZO」として登録されており、「R」は、進行方向左手の地点ロメオを表わしていたからである。乗員はオート・パイロットの意図がわからず、「今、どこにいるのだ?」「どちらへ向かって飛んでいるのだ?」と叫びつつ、状況を把握しようと模索するうちに山岳地帯に迷い込んだ。そのうち GPWS が警報を発したが、回復操作は間に合わなかった。

この事故は、複数の人間によるエラーの同時発生は稀ではないこと、顕在化しにくい不具合(地名と識別符号との、誤解を招きかねない対応づけ)の恐ろしさを物語っている。

GPWS が装備されるようになって CFIT は減少した。しかし、皆無になったわけでは

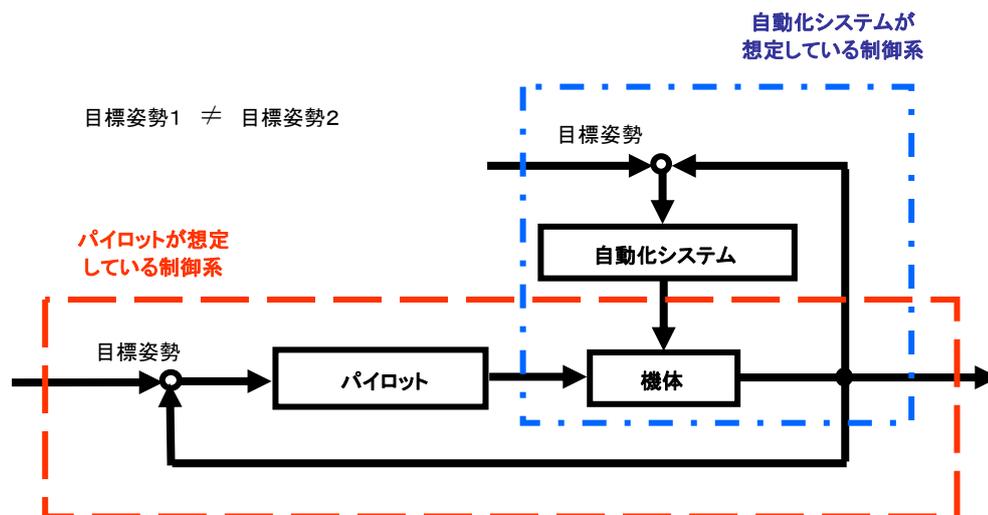
ない。地表面への接近の様子や降下率の大きさは、コクピット内の計器情報から知ることができる。危険が予想される事態になれば警報も出る。しかし、「計器に表示される高度や降下率の数値データを頭の中で統合して機体の状況を思い描く」ことを人間に強要するのではなく、「機体が降下している様子を、地表面との相対関係の変化としてグラフィカルに表示する」ことで乗員の状況認識を支援する方式が研究されている²⁹⁾。

また、GPWS の警報が出ても、回避操作が遅れたり、「これは誤報だろう」と思って対応しなかった事故が多数存在することから、「緊急性の高い危険回避操作の自動化」も検討されている²⁷⁾。それに関連して問題になってくるのが、判断と操作に関する権限の所在である。

7. コンピュータは人間に反抗するのか?

1994年4月、名古屋でのエアバス A300-600R の墜落では、操縦士が着陸を試している際、オート・パイロットは着陸復行モードにセットされており、操縦士は最後までモードを修正しなかった³⁰⁾。これはモード理解不足が関与する事故だが、「コンピュータが人間に反抗した」として論議を呼んだ事故でもあった。

人間とコンピュータによる制御が「並列的」に行われる場合、「オート・パイロットの制御を人間がアシストする(supervisory override という)」ときのように、両者の目的が同一であれば良いのだが、目的や意図が異なっていると問題が起こる。各エージェントにとっては、他のエージェントの制御は「外乱」であり、それを打ち消すために、さらに大きな制御入力を加えること



第3図 目的を共有しない他者の存在のもとでの制御

になる(第3図). 名古屋での事故はこの形態である. オート・パイロットは, 機体を上昇させるべく水平安定板を制御し, 操縦士は, 機体を降下させるべく昇降舵を制御した³⁰⁾.

しかし, オート・パイロットのこの行為は, 人間に対する「反抗」ではない. オート・パイロットは人間から指示された「古い命令」(着陸復行)に忠実に従っている. 一方の人間は, 自分が与えた古い命令を取り消すことなく, それと正反対の「新しい意図」(降下)を形成し, 実行しようとした. 「人間に古い命令を取消させるのを妨げたのは何だったのか?」を問わず, 反動的に見える行為に目を奪われると, ヒューマン・マシン・システムの本質を見誤る.

8. 緊急時の意思決定・操作を人間に要求できるか?

1996年6月, 福岡空港で発生したDC-10機の離陸中断(RTO: Rejected Takeoff)事故は, 人間とコンピュータの間での判断・操作に関する権限を考察するうえで, 重要な問題を提起している. 離陸滑走中にエンジンが故障したとき, 基本的に

は「速度がV1に達する前ならNo Go(離陸中止), V1後ならGo(離陸継続)」である. No Goのときの標準手順は, 「スラスト・レバーを絞り, フル・ブレーキをかけ, スポイラを立て, スラスト・リバーサーをかける」ことであり³¹⁾, 事態の認知・判断・操作に許される時間は数秒である³²⁾. V1付近の速度では1秒あたり250ft程度走行する³³⁾ため, 躊躇は許されない.

離陸滑走中には, エンジン火災, タイヤ破損, 鳥の衝突, 計器や警報灯の誤作動などの事象も起こりうるが, 機体速度が同一でも, GoかNo Goかは生起事象に依存する.

「RTOによる事故の80%は, 離陸を継続しておれば防げたであろう」と言われる. しかし, 「どの事象が発生したのかを見極め, 機体速度を勘案してGo/No Goを決断し, 必要な操作を行う」ことに, 数秒しか与えられていない. これは, ほとんどスキルベースの行為に対する許容時間であるように思えるが, 要求されているタスクは, ルールベースあるいは知識ベースの世界に属するものである.

離陸の自動化の可否について, 「完全に自動化するか, 「すべてを人間に任せる」か,

二者択一的な観点から議論されることがある。しかし、自動化システムやセンサ系が絶対に故障しないと仮定するのは非現実的であり、「いつどのような事象が発生しても、Go/No Go の判断・操作を正しく、かつ瞬時に完了せよ」と人間に要求するのも苛酷に過ぎよう。完全自動化、完全手動化、そのいずれにも長所・短所がある以上、定性的な議論だけでは不十分である。すなわち、機材の信頼性、機体速度、認知・判断・操作に許容される時間の長さ、人間の特性(判断の誤りや、瞬時の判断に対する躊躇の発生)、判断・操作の誤りに伴うリスクなどを考慮した数理モデルを構成し、Go/No Go の判断・操作を人間が行うのか自動化システムに任せるのかを、状況に応じて使い分ける方式^{3,4)}を定量的に解析してみる必要もあるのではないだろうか。

また、すべての判断・操作を人間が担当する形態を踏襲するにしても、支援形態に工夫が必要である。現在は、エンジン故障など「発生事象」が提示されるが、それがGoを意味するのかNo Goであるのかは状況に依存する。「Go」「No Go」など、「判断そのもの」を提示する方式^{3,4)}の検討も必要であろう。

ウィンドシアの回避についても同様である。現在は、ウィンドシアが検知されたとき、「ウィンドシア！」との音声警報を出され、操縦士がそれに基づいて回避操作を行うのがふつうである。しかし、ウィンドシアの回避は一刻を争う。操縦士による認知・操作よりも早く対応できる「ウィンドシア自動回避システム」に対応させるか、やはり操縦士に対応させるべきかは、議論の分かれるところである。ここでも何らかの数理解析が必要となる。

ただし、数理的アプローチがすべてであ

ると言えないことはもちろんである。制御対象、警報システム、自動化システム等の信頼性を考慮しつつ、高度自動化の有効性と人間の受容・依存を、認知心理学・認知工学的実験を通じて、ヒューマン・マシン・システムという全体的な枠組みから検討することも重要である。システム構成要素の動特性を表現する数理モデルを集めただけでは、人間の感情の動き(不信と過信の交錯・共存など)も含めた、ヒューマン・マシン・システム内部の複雑な相互作用^{3,5) - 3,9)}を表現し尽くせるとは限らない。

9. トータル・システムの安全性向上へ向けて

現在のヒューマン・マシン・システムは、制御対象の信頼性は高く、それを支える自動化システム群(制御装置や管理システム)も多機能性と高信頼性を誇っている。もちろん全く故障しないシステムなどありえないから、信頼性設計、信頼性管理、保全などが引き続き重要な役割を演じることは論を待たない。しかし、人間の信頼性や機材の信頼性を個々に取り出して解決を計ろうとしても、うまくいく保証はない。かえってヒューマン・マシン・システムの安全の低下につながる可能性すらある。

最先端技術を駆使したシステムは、人間に対する負担の軽減を目指していたはずであるが、実現されたシステムは誰にでも使えるものではない。使用法の訓練だけでなく、デザイン・コンセプトを理解するための教育・訓練^{3,0)}も必要となるなど、一層の負担が強いられている。これからのシステムには、目的とする機能や高信頼性の実現にとどまらず、制御対象ならびに自動化システムに対するメンタルモデルの構築を支援する工夫が必要である^{1,5), 4,0) - 4,3)}。

メンタルモデルの外在化, アフォーダンス⁴
4) が利用できるインタフェース等の可否が,
ヒューマン・マシン・システムの安全性に
大きく関与する時代となっている。

ただし, システム設計における「独自性」
や「新規性」には注意が必要である。同一
の目的を実行するための操作がシステムに
よって異なることは安全性を損うことにも
なり, 自動化システムとのインタフェース
に関する設計の多様性は両刃の剣である。
何らかの「標準化」を考えてみる必要があ
らう。

「判断・操作に関する権限を人間とコン
ピュータの間でどのように共有・配分する
か」も微妙な問題である。「人間に最終決定
権を与え, コンピュータは人間に従属させ
るべきである」^{45), 46)} という理念のもと
に「人間中心の自動化システム」づくりが
進められているが, 信頼性・安全性の立場
からは楽観できない点もある。すなわち,
人間にすべての権限を与えることは, その
人間を厳しい環境に置くことでもある。事
故は単一の原因では起こらず, 時として複
雑な様相を呈するが, 「状況を適確に把握し
ておれば, 事故は回避できたはずだ」と,
オペレータが責任を問われることにもなり
かねない。状況認識の難しさはすでに見た
とおりである。特定のオペレータの責任に
問題を帰着させることは易しい。しかし,
「人間中心のシステム」の理念が, 人間を
追い込むことに利用されるようなことがあ
ってはならない。

参 考 文 献

- 1) R. Barlow and F. Proschan: Statistical Theory of Reliability and Life Testing, Rinehart and Winston (1975)
- 2) T.L. Chu and G. Apostolakis: Methods for

probabilistic analysis of noncoherent fault trees; IEEE Trans. Rel., Vol.29, pp.354-360 (1980)

3) T. Inagaki and E.J. Henley: Probabilistic evaluation and prime implicants and top-events for non-coherent systems; IEEE Trans. Rel, Vol. 29, No. 5, pp. 361-367 (1980)

4) J. Reason: Human Error, Cambridge University Press (1990)

5) F. Hawkins: Human Factors in Flight, 2nd Ed., Avebury Technical (1993)

6) Statistical Summary of Commercial Jet Aircraft Accidents, Boeing (1995)

7) E.L. Wiener: Human factors of advanced technology ("glass cockpit") transport aircraft; NASA TR-177528 (1989).

8) D.A. Norman: The 'problem' with automation: inappropriate feedback and interaction, not 'over-automation'; Phil. Trans. R. Soc. Lond, B327, pp. 585-593 (1990)

9) N. Sarter and D.D. Woods: Strong, silent, and out-of-the-loop; CSEL 95-TR-01, The Ohio State University (1995)

10) T.B. Sheridan: Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control, MIT Press (1992)

11) 岡野: 事故のモニタージュ, 全日空, 5, pp.51-82 (1993)

12) M.R. Endsley: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems; Human Factors, Vol. 37, No. 1, pp. 32-64 (1995)

13) 川端: タイ航空 A310(CFIT 事故); 安全飛行, No. 179, pp.7-20 (1996)

14) R. Parasuraman, et al: Performance consequences of automation-induced "complacency"; Int. J. Aviation Psychology, Vol. 3, pp.1-23 (1993)

15) N.G. Leveson: Safeware - System Safety

- and Computers, Addison-Wesley (1995)
- 16) 稲垣：誰のための自動化？；計測と制御, Vol. 32, No. 3, pp. 181-186 (1993)
- 17) Dramatic incidents highlight mode problems in cockpits; AWST, pp. 57-59, Jan 30 (1995)
- 18) N. Sarter and D.D. Woods: How in the world did we ever get into that mode? ; Human Factors, Vol. 37, No. 1, pp. 5-19 (1995)
- 19) Accidents direct focus on cockpit automation; AWST, pp.52-54, Jan 30 (1995)
- 20) Modern cockpit complexity challenges pilot interfaces; AWST, pp. 60-63, Jan 30 (1995)
- 21) 石橋：望ましい航空機の自動化；TFOS Journal, No. 13, pp. 11-23 (1997)
- 22) C.D. Wickens: Designing for situation awareness and trust in automation; Proc. IFAC Integrated Systems Engineering, pp. 77-82 (1994)
- 23) N. Sarter, and D.D. Woods: Pilot interaction with cockpit automation; Int. J. Aviation Psychology, Vol.2, No.4, pp.303-321 (1992)
- 24) N. Sarter, and D.D. Woods: Pilot interaction with cockpit automation II; Int. J. Aviation Psychology, Vol.4, No.1, pp.1-28 (1994)
- 25) Studies highlight automation 'surprises'; AWST, pp. 48-49, Feb 6 (1995)
- 26) 岡野：事故のモニタージュ, 全日空, 1, pp. 270-291 (1990)
- 27) W.B. Scott: New research identifies causes of CFIT; AWST pp.70-71, Jun 17 (1996)
- 28) Recovered FMC memory puts new spin on Cali accident; AWST, pp.58-61, Sep 9 (1996)
- 29) Incident reveal mode confusion; AWST, p. 56, Jan 30 (1995)
- 30) 航空事故調査報告書：中華航空公司所属エアバス・インダストリー式 A300B4-622R 型 B1816 (1996)
- 31) RTO におけるヒューマン・パフォーマンスについて; 安全飛行, No. 161, pp. 34-48 (1993)
- 32) RTO: Takeoff Safety; Flight Safety, No. 84, No. 85 (1992), No. 86, No. 87 (1993)
- 33) RTOに潜む Risk とその回避; Safety Bird, No. 3, No. 4, No. 5 (1989)
- 34) 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 (1997)
- 35) J. Lee and N. Moray: Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems; Ergonomics; Vol.35, No.10, pp.1243-1270 (1992)
- 36) N. Sarter and D.D. Woods: Autonomy, authority, and observability; Proc. IFAC MMS, pp. 149-152 (1995)
- 37) T. Inagaki: Situation-adaptive responsibility allocation for human-centered automation; 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No.3, pp. 292-298 (1995)
- 38) M. Itoh and T. Inagaki: Human-interface design for situation awareness; Proc. 5th IEEE RO-MAN'96, pp. 478-483 (1996)
- 39) T. Inagaki and M. Itoh: Trust, autonomy, and authority in human-machine systems: Situation-adaptive coordination for system safety; Proc. CSEPC 96, pp.176-183 (1996)
- 40) E. Hollnagel: Human Reliability Analysis -Context and Control, Academic Press (1993)
- 41) J. Rasmussen, et al: Cognitive Systems Engineering, Wiley (1994)
- 42) J. Flach, et al: Global Perspectives on the Ecology of Human-Machine Systems,

Lawrence Erlbaum Association (1995)

43) R. Parasuraman and M. Mouloua:
Automation and Human Performance,
Lawrence Erlbaum Association (1996)

44) 佐々木：アフォーダンス；新しい認知
の理論，岩波書店(1994)

45) D.D. Woods: The effects of automation on
human's role; NASA CP-10036, pp. 61-85
(1989)

46) C.E. Billings: Human-centered aircraft
automation; NASA TM-103885 (1991)