

## 航空交通システムにおける安全の原理

塩見格一\*

航空交通システムの安全性の向上に有効と考えられる技術は多く存在する。特に、ソフトウェア技術に対する期待は大きく、今日、航空機や航空管制システムの高度情報化等が急速に進められている。しかしながら、未だ完璧なソフトウェアを実現する技術が存在するわけではない。この十数年以上の間に航空事故率を低減することができなかった事実を謙虚に受け止め、今一度、「我々は何をなすべきか？」冷静に検討しなければならない。

### Philosophy of Safety of Air Transportation

Kakuichi SHIOMI\*

There are many industrial designs and technologies useful for improving safety of air transportation. Information technologies are expected to have the most possibility, and integration among airplanes, air traffic control system and other information systems, such as a weather information system, is now being proceeded aggressively. We have to stop to think what we are doing once again, since we have not been able to decrease rate of air accidents. We have never got a way to make software or system perfect yet.

#### 1. はじめに

二十世紀後半における著しい航空技術水準の向上により、現在、航空事故発生率は100万回の飛行に対して1回以下となっている。我が国の航空会社をはじめ安全性が高い航空会社に限れば、事故の発生確率は1,000万回の飛行に対して1回程度であり、この事実により、2001年9月11日米国同時多発テロ事件発生まで、一般的に航空機は安全性の高い乗物と考えられるようになっていた。

今日においても、航空機そのものの安全性については十分な信頼が寄せられており、これを疑う意見は多くはないと思われる。将来的に十分なテロ対策を実施することの可否に係る問題はともかくとして、筆者も、「個人の悪意が存在しない限り、航空機は

かなり安全な乗物である」と考えている。今日の航空交通における安全性の実現に貢献してきた多方面からの関係者は、現状においても、さらなる安全性の向上を目的としそれぞれの立場においてさまざまな努力を続けているわけであり、将来的に、その安全性が急激に失われるような状況を想像することは、テロのような悪意による結果を除けば、難しい。

しかしながら、今日の航空機がかなり安全なものではあっても、多くの人々によりさまざまな努力がなされてきたにも拘らず、この二十年程の間にはその事故率に著しい改善が見られなかったことも、また事実である。今日発生する事故の多くがパイロット等のヒューマン・エラーによるものであり、ヒューマン・ファクターに起因する事故を防ぐことの困難さが、事故発生率の改善が見られないことの理由として述べられるが、我々は、この言い訳をいつまで言い続けなければならないのであろうか。数十年に及ぶ努力が明確には実を結んでいない事実は、我々の安全に対する考え方や、それを実現しようとする

\* 電子航法研究所主幹研究員  
Chief Researcher,  
Electronic Navigation Research Institute  
原稿受理 2002年3月8日

方法に問題があることを意味しているのではなからうか。[第一の問い]

筆者は、今日まで約15年間、航空交通システムに係る研究に従事してきた。その間には、レーダーに係る信号処理技術の研究、航空管制シミュレータの開発、航空管制用コンソールの試作開発、データ通信パラダイムにおける管制情報処理システムの構築に要するソフトウェア技術の研究等々に係ってきた。本稿においては、これらの研究開発において行った航空交通の安全性向上に向けての考察について、その内容を紹介する。

## 2. 安全性の意味

まず、“安全性”の意味するところについて、また、“安全性について考えること”そのことの意味するところについての考察を述べる。

### 2-1 安全性への疑問

1,000万回の飛行に対して1回の事故発生確率のもとでは、毎日飛行機に乗ったとしても運悪く事故に会うのは27,000年に1回以下であり、百年も生きることのできない我々には、航空機の安全性は理解できない程に高いものと感じられるかもしれない。また、長年にわたる努力にも拘らず事故発生率をこれ程以下には低減できないことから、この小さな事故発生率が、今日の我々の安全技術においては対処できない程に小さなものであることも間違いのないところかもしれない<sup>3)</sup>。

航空輸送における、このように小さな事故発生率はどのような原理により実現されているのであろうか。[第二の問い]

また、しかしながら、例えば、新幹線の事故発生率はさらに小さな値であるが、なぜ航空輸送においてはそのような値にまで事故率を低減させることができないのであろうか。[第三の問い]

### 2-2 安全性に対する誤解

選抜訓練されたパイロットの操縦する航空機と、容易に取れる免許で運転できる自動車とを比較することは問題のすり替えや誤解をもたらす恐れはあるが、我が国だけでも毎年1万人以上が死亡している自動車事故の発生確率は、航空機に比較して二桁以上高いわけであるが、なぜ我々は、そんなに心配せずに平気な顔をして、実際に平気に、自動車に乗ることができるのであろうか。[第四の問い]

2001年9月の同時多発テロ発生以降の数ヶ月間は米国出張を全面的に中止する程の反応を見せた多数

の企業においても、そのような反応を示した各人は日常的に業務で自動車を使用しており、また自動車通勤したり、休日には、帰りには疲れ切っているようなレジャー活動にも自動車を使用しているのである。このような現象は、筆者には、単に人間を矛盾した存在であると考えことや、或いは愚かであると考えることによっては理解できない。どこかに、「自らは統計的な可能性において例外だと考える」ようなメカニズムが存在していると思われる。

人間は、常に、些細なものから重要なものまでさまざまな判断をして日常を過ごしているわけで、「ある判断の時点において生きている」ということによって、常に、自己の生存可能性に対して自信過剰となっているのではなからうか。

### 2-3 主観的な安全性

あるシステムの利用において何等かの安全性に係る選択を行おうとする時、システムにおける局所的な安全性に関する情報のみが有用なのであって、システム全体の安全性等は何ら意味を有さないことは明らかである。即ち、ある人がある飛行機に乗ろうとする時、その人にとっては、航空交通システム全体の安全性ではなく、その乗ろうとする航空会社を他社と比較した場合の安全性の方が重要であり、さらには、その乗ろうとする航空機と他の機種とを、またパイロットの他のパイロットとを比較した場合の安全性の方が重要であるはずである。

自動車に乗る時には、実際にその人において、その自動車や運転手が安全そうに見えることにより、少なくとも危なくは見えないことにより、その人は自信過剰な判断を下しているわけであろう。飛行機の場合は、多くの人は飛行機を自動車程には知らないわけであり、パイロットと個人的な面識があることも稀であろうから、まず、明確には理解していない統計的な数字を信じ、次に、「自分自身が事故に遭ったことがないという経験からの類推による安全性に対する判断」を信じているのではなからうか。

安全性に対する認識が全く個人的な経験や理解に基づくとすれば、今日の航空交通における安全性は、結局のところ、きわめて人間的なパイロット、即ち“死ぬのが怖い”パイロットが操縦していることによるのではないだろうか。先の[第二の問い]に対し、筆者は、まず第一に、「航空輸送におけるごく小さな事故発生率は、きわめて人間的なパイロットが操縦していることによる」と回答したい。

確かに、航空事故率の低減が航空機性能の著しい

向上によることは明らかであろう。金属疲労による空中分解や、さまざまなエンジン障害等に起因する事故については、その原因が究明された時点においてなされてきた対応が功を奏し、以降における同様な事故の発生確率を低減させてきた。このような航空事故に対しては、さまざまな技術開発の積み重ねが有効であったと理解される。しかし、これらの技術開発についても、これを「危険な飛行機には誰も乗ろうとはしないであろう」との営業的な判断の結果と捉えることもできるのである。

#### 2 - 4 複雑な安全性

航空事故率を鉄道事故率程には低減できていない理由について、時に [ 第三の問い ] に対する回答として、例えば、航空機が電車よりも複雑な乗物であることをもって、また航空機が空を飛ぶことや、空中でエンジンが停止した状態において制御できないことをもって、「本来的に航空機が電車よりも危険な乗物である」と言われる。従来、このような主張がなされる時、航空機の危険性を自明と信じ込むことにより、多くの場合、以降の検討は放棄されてきたように思われる。

しかしながら、高度に複雑化した新幹線において、新幹線以前の比較的単純な世代の鉄道輸送システム以上の安全性が実現されているわけであり、単なる複雑さの増大が危険度を増すものではないことは明らかである。また、航空機の事故が必ずしも巡航中に起きるわけではないし、空中でのエンジン・トラブルによる事故等も稀である。ほとんどの事故は山への衝突等、ヒューマン・エラーによるものであるから、[ 第三の問い ] に対する答えは、航空機とパイロットの関係が、電車と運転手の関係とは異なるものであることに求めなければならないのではなからうか。

安全性に関する問題は実に複雑であり、容易に解答の得られそうな [ 第三の問い ] についても、その解答は、個人の能力においては将来的にも理解できない程に複雑なものであるのかもしれない。

#### 2 - 5 理解する安全性

[ 第三の問い ] に答える前に、パイロットは飛行機の操縦を「体で覚えているのか？」或いは「頭で理解しているのか？」ということについて検討することが有効であると思われる。

例えば、筆者は、自転車には滅多に乗らないが、必要があれば乗ることができる。しかし、自転車の運転について技術的な説明を求められても、直ちに

は、その説明を聞いた人間が自転車を運転できるように説明することはできない。筆者が、簡単に答えることができる問いは「自転車を運転できるようになるためにはどのような練習をすれば良いのか？」というような問いだけである。人間の記憶には言語的なものと非言語的なものの双方が存在するが、自転車の運転方法は、筆者においては、非言語的に覚えらる程に単純なレベルのものであり、従って言語的に理解されているわけではないのである。

人間が操作する装置やシステムが、例えば自転車から自動車や鉄道車両に、さらには航空機へと複雑化すれば、必然的に、その操作や操縦は言語的な記憶や理解への依存度を増すと考えられる。いくらかの個人差は存在するであろうが、非言語的な記憶のみによっては日常的に継続的に繰り返される操作を行うこと程度のことしかできないのではなからうか。

航空機の操縦を操縦士と副操縦士との分業により行う状況について考察すれば、航空機の操縦が自転車の運転や一人で行う自動車や鉄道車両の運転との相違が、またその言語的な活動の意味を理解することができる。

#### 2 - 6 共通の安全

二人の人間が存在する時、相互に理解可能な範囲は言語により説明可能な範囲、即ち言語により語られたり、非言語的な記憶に基づく行動等であっても言語により説明可能な動作が行われる範囲に限られる。二人の人間が協力して何らかの目的を実現しようとする時、その二人の認識が一致していることがきわめて重要であり、あえて相互に言葉では説明しないような場合であっても、行動で自らの認識を示すことにより、常に同意が確認されながら或いは求められながら共同作業は進められる。

航空事故史上最悪の惨事と言われるテネリフェ島での事故は、離陸機の操縦士の権威が必要以上に高かったことにより、その副操縦士が精神的に操縦士に従属していたために防ぐことができなかった例と考えられている。以降、副操縦士が操縦士に従属することなく、操縦士と副操縦士とが相互の認識を常に確認することを可能とした業務形態の強化が計られており、これは今日のCRM ( Crew Resource Management ) における重要項目として認識されている<sup>5)</sup>。

しかしながら筆者の見るところにおいて、操縦士と副操縦士との間に明確な職務分担が期待されるにも拘らず、副操縦士としての職務が操縦士となるた

めの課程に存在する状況においては、上記CRMが期待される効果をもたらすとは考え難い。このような職務的な資格課程の存在は、必然的に、操縦士に対する副操縦士の従属を伴うはずであり、CRMの目指すところの合理的分業を実現し得るものではない。

CRMの精神に沿って、操縦士と副操縦士との職務分担により航空機運航の安全性を確保しようとするのであれば、副操縦士には理想的な副操縦士になるための課程が提供されるべきであり、操縦士には理想的な操縦士になるための課程が提供されるべきである。コックピットにおいて、専門的な判断はその職分を有する側において、一般的な判断はその経験等において優位にあると考えられる側において行うべきであり、将来的には、経験の浅い操縦士がベテランの副操縦士の判断により航空機を運航するような状況が発生することも、合理性からの帰結として、十分に起こりうるべきことではなからうか。

## 2-7 航空交通の安全

航空機の運航はパイロットと管制官の共同作業として、また航空交通システム全体の運用は、パイロットや管制官に加えて、航空会社の運航管理者や機材整備関係者、管制業務機器の開発提供者やこれら機器の運用整備関係者、さらには、航空会社経営者と乗客等航空輸送サービスの利用者等々の共同作業として行われている。

従って航空交通における安全性は、これに係る者において共有される安全に対する価値観の質に依存する。単なる乗客とパイロットでは、航空安全の実現に係る知識については全く異なるレベルの要求が存在するであろうが、「安全が何より重要である」ということの認識については、航空交通に対する係り方に何ら依存する処はないはずである。価格破壊運賃による営業の結果、墜落事故により破綻した米国ヴァリュー・ジェット社を例とすれば、航空会社の経営者の安全に対する価値観が間違っていたわけであり、また、ハイジャック犯に凶器の機内への持込みを許してしまうような状況については、空港の保安関係者の安全に対する認識に問題がある場合もあるわけである。乗客がよく知らない人物から荷物を預かったりする場合もあるわけで、一般乗客からパイロット、さらには航空会社経営者や航空行政に係る政治家まで、全ての者が一様に高い安全性の実現を可能とする倫理観を有さなければ、個別には如何に高度な安全技術が存在したとしても、航空交通システム全体としての安全性を確保することは難しい。

## 3. ケース・スタディ

航空安全には、これに対する共通の高い倫理観こそが最重要事項であることを理解し、さらに、誰もが高い倫理観を有しているわけではなく、また「皆が共通の倫理観を有する」といったことはおよそ期待できないものであることが理解される時、それぞれの係り方において、航空安全向上への貢献の方向は明らかなものとなる。

以下、仮想現実感生成技術や分散型情報処理システム構築技術等、多くの現用航空機が設計製造された当時には一般的ではなかったり、また存在しなかった高度な情報処理技術の利用による航空交通システムの安全性向上の可能性について、これらについて研究する立場において得た知見を述べる。

特に、高度なソフトウェア技術には、航空交通の安全性の向上に無限の可能性を与えるものとしての役割が期待されるが、未だ我々は完璧なソフトウェアを実現する技術を有してはならず、この点に係る誤解が将来的に深刻な問題を引き起こす可能性を有していることに注意しなければならない。

### 3-1 仮想現実感生成技術

高度なコンピュータ・グラフィックスと合成音響を組合せた仮想現実感生成技術は、近年のパソコンの急激な高性能化により、現在、最も普及の著しい情報処理技術の一つである。

筆者は、1995年当事、世界最大規模の飛行場管制シミュレータの構築に係っていた。直径15mの全周型スクリーンに8台のプロジェクタで管制塔からの景観を投影する飛行場管制シミュレータには、操縦シミュレータを接続し、通常の旅客機(B747、A320など)に加えて垂直離着陸機(V22)の運航も模擬できるようにした(概観についてはFig.1およびFig.2を参照)。

シミュレータ全体はFig.3に示すシステム構成を有しており、シミュレーションに参加する各管制官やパイロットのためのコンソールはそれぞれが独立したシミュレータとしての機能を有しており、相互にシナリオ処理システムを介して接続されている。当時、このように多数のシミュレータを接続したシステムは他に類例がなく、試行錯誤により全体として機能するものにまとめるのに数年を要した。

この飛行場シミュレータは、将来的な飛行場管制業務における使用を想定する管制業務機器の開発評価に使用しているが、業務機器の開発に利用者であ



Fig. 1 飛行場管制シミュレーション実施状況



Fig. 2 飛行場管制シミュレータ概観

る管制官が直接に参加することの少ない我が国の状況においては、シミュレータの開発は、業務機器の開発者がその開発目的や使用環境を理解するための最高の教材となった。我々は、我々の管制業務に関する理解をシミュレータにより表現し、これを実際の管制官に評価してもらうことで、従来は行間の意味を推測するしかなかった管制官からの要望をはるかに正確に理解できるようになり、試作評価試験にかける管制卓等の試作においても、無駄に時間を浪費することはなくなり、その初期的な完成度を向上させることができた<sup>6)</sup>。

例えば、航空管制用ワークステーションの開発においては、管制対象となる航空機の移管手順やそのタイミング等が、システムにおいて可能な多数の組合せに対して、実際の業務においては限定的な組合せで対応できることが明らかになり、業務予測による知的な支援機能等を実現することが可能であった。

このことは予想外の事態が発生しない限り管制業務の自動化が可能であることを示すものであったが、また予想外の事態の発生には人間の管制官による対応が必要不可欠であることをも確認させるものであった。

従来、業務環境の高度情報化の目的としては、定型的な業務の自動化に加えて、知的な業務支援の適

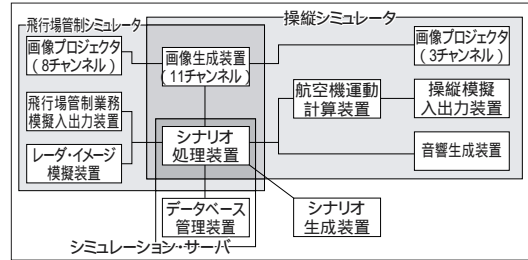


Fig. 3 飛行場管制シミュレータ・システム構成図

用状況として例外的な事態の収拾を想定してきたが、また完全自動化により高度情報化の最終的な目的が達成されるように考えてきたが、このような考え方が明らかに間違っていることを、我々は理解した。構築すべきは人間と機械が協調するシステムであり、そのようなシステムは、任意に人間が介入することを可能とするものであり、人間がシステムの許容する範囲で任意に結果を変更することを可能とするものでなければならないはずである。業務の自動化機能は、このようなシステム機能実現のための前提に過ぎないものであった。

さて、しかしながら、我々は、以上のような技術的な経験によりシミュレータの開発やその利用が有効である目的がきわめて限定的なものであることも強く認識することとなった。管制卓等の試作初期における完成度については著しく向上させることが可能であっても、実機レベルに向けての改修等においては、常により高いリアリティーが必要とされるため、今日のシミュレータ技術では対応できない事柄が無数に発生し、シミュレーション自体が無意味化してしまうのである。

例えば、到着機に対する飛行場管制業務は、その到着機の識別から業務が開始されるわけであり、飛行場管制官には、まず第一にその到着機を正しく発見することが求められるが、現状の画像表示システムによっては遠くの航空機を十分にリアルに表現すること等は不可能である。到着機を発見することも、また到着機が相互に適正な間隔を有しているか否かの確認も、手続き上は模擬することが可能であっても、本当に望まれている意味での模擬等は全くできないわけである。

現状技術により生成される仮想現実感のリアリティーが不十分であることによるが、当分の間、現実と区別のつかない景観を生成するようなことは不可能であろうから、シミュレータに、個人差を含むヒューマン・ファクターを定量化する程の機能を期待

することはできない。当面の間は、シミュレータは、航空機の操縦手順や管制業務手順を理解する以上の目的には対応し得ないと思われる。

本質的には、仮想現実感を利用したシミュレータは一つの記述形式であり、写真やスケッチよりも具体的な記述に向いているに過ぎない。従って、CRMの一部である安全技術の教育等には有効であるかもしれないが、CRM等による安全性向上の前提である職務倫理の向上等に有効である保証は存在しない。

CRMは、その実施形態としてLOFT( Line Oriented Flight Training ) と呼ばれる形態を取ることが多い<sup>5)</sup>。搭乗要員がシミュレーション空間でロール・プレイング・ゲームを行うLOFTは具体的であるため一見すぐにも役立つような感覚を与えるが、具体的であるために形骸化し易いものでもある。現実、今日の航空機はきわめて高性能であり、パイロットや他の乗務員がLOFTによる訓練に助けられる様な経験をすることはほとんどありえないことを考えれば、形骸化したLOFTによりCRMの精神が損なわれる危険性について十分な配慮が必要とされるのではなからうか。

### 3 - 2 オブジェクト指向設計技術

まず、「人間でも、機械でも、その能力以上のことを要求すればうまくいかなくて当たり前である」ことを明記しなければならない。

航空管制情報処理システムのような大規模なシステムの全体を、個々の部分についてその全てを実際に製作できる程に理解すること等は、個人の能力をはるかに越えるものであり、従って、誰も完全な全体像を思い描くことはできないし、誰がどのレベルでそのシステムを表現しようが、そこには無数のブラック・ボックスが必然的に存在する。

このような大規模なシステムを実際に役に立つものとして実現するためには、個人の理解を越えるシステムの構築を可能とする方法論が必要不可欠である。全体像さえもが明確ではない状況からのシステム構築においては、局所的な整合性の積み重ねにより全体的に十分な整合性の実現が約束された、少なくとも可能と考えられる手法が必要不可欠である。筆者は、先のシミュレータの構築や、次世代の管制用ワークステーションの開発を通じて、現在、オブジェクト指向なシステム分析とシステム設計手法こそが、大規模システムの構築を可能とする唯一の方法論と考えるに到っている。現実においても、最近のインターネット指向なシステムの多くは、局所整

合性の確保に重点を置いた設計となってきた。

なお、ここに言うオブジェクトは外部仕様を規定された機能の集合体であり、個々のオブジェクトはより小さなオブジェクトから構成される。オブジェクトはサブルーチンのような単純な或いはむき出しの機能ではなく、それぞれにインターフェースを有し、その有する機能にはインタフェースを介してのみアクセスを可能とする。

オブジェクト指向手法は一つの記述形式を与えるものであり、システムに実現すべき機能は、システムを構成するオブジェクトの相互作用として記述される。システム全体を多数のオブジェクトのネットワークとして記述することが可能であり、各オブジェクトにおいて接続されるオブジェクトとの関係を整合させることにより、システム全体としての整合性の実現に対する必要条件としての局所整合性を実現することができる。

上記のように局所整合性の積み重ねとしてシステムを実現した場合、システムの内部を伝わる情報の速度が有限であること等により、時に全体としての完全性が失われる状況も発生する。多数のコンピュータをインターネット接続したような分散処理システムにおいて、さまざまなプロセスが並行処理されているような場合には、分散処理のパフォーマンスを維持しながら、同じ入力データに対して同じ答えが返されることを保証することは容易ではない。例えば、建築物や自動車等の構造解析にクラスタ型システムが歓迎されない理由もこの点にあるのだが、一つのプロセスのバグが他のプロセスのバグと干渉し、その結果がまた別のプロセスのバグを発現させるといった『綻びの連鎖』のような状況が発生しない程度には、十分な局所整合性を各オブジェクトに実現することは今日の技術においても可能であるのかもしれない。もっとも、少なくとも筆者には、システム全体を矛盾のない一つのツリー構造として記述実現するよりは、全てのオブジェクトに十分な局所整合性を実現する方がはるかに容易であることは明らかと思われる。

今日の多くのシステムがそうであるが、個人によりその全てを理解できない程の規模以上のシステムを構築する場合に、まず「我々には無矛盾で完全なシステムを実現することは不可能である」ことを理解しなければならぬ。我々には、理想的なシステムの詳細を思い描くことが不可能なのであるから、設計の良し悪し等を問う前に、「その方法論により

製造される製品に良し悪しを問うことが可能であるのか否か？」を問わなければならない。

能力の限界が明確なものであれば、過度な要求による事故等を防ぐことも可能であるが、能力の限界を評価することは対象が機械であっても容易なことではない。対象がパイロット、或いは管制官といった人間である場合に、各個人差もさることながら、その能力の限界は周辺環境の影響も強く受け、これを一般的に測定すること等は不可能である。従って、彼等に期待される能力には、現実的に要員の確保が可能である程度の規準が規定され、その規準に対しての選抜が実施されることとなる。この規準は、「目的の遂行に能力的な余裕をもって対応できる」と思われる基準として規定されるわけではあるが、要員の確保が十分に可能である規準であって、全く相対的なものに過ぎない。

我々が、航空管制情報処理システムのような大規模なシステムを構築しようとする場合において、人間に適用される規準が相対的なものに過ぎないように、これを構成する装置やサブシステムに対して設定される規準も常に全て相対的なものであるということは最も重要な認識である。即ち、最善であることや最高であることは、必ずしも十分であることを意味しない。

### 3 - 3 カオス論的心身診断技術

初めにも述べたように、さまざまな努力がなされてきたにも拘らず、この二十年程の間には、航空事故率に著しい改善は見られていない。今日発生する事故の多くはパイロット等のヒューマン・エラーによるものであることから、各航空会社においては、ヒューマン・エラーの防止を目的にCRM / LOFT等が熱心に行われているが、現在、その成果は必ずしも明確なものではない。

将来的なさらなる航空交通の安全性の向上を実現するためには、CRM等の今日までの安全技術とは異なる視点からこれらを補完する、新たな安全技術の導入が必要不可欠と考えられる。カオス論的心身診断技術はパイロットの疲労状態等をリアルタイムに計測することを可能とする技術であり、CRM等従来技術を補完する技術として高い可能性を有するものである。

#### 1) CRMの限界

CRMは、人間が間違いを起こすことを前提として、人間性をブラックボックスとしたままに航空機の運航の安全性を向上させるための手法として、

1980年代以降積極的に導入が進められたが、これによっても未だヒューマン・エラーを無くすことはできていない。

CRMが必ずしも安全性の向上に有効ではなかったことについて、その意味の取り違えや、要員の文化的な背景等がその効果を無効にしているとの主張も存在するが、筆者には以下のように考えられる。

CRMは一見“人間性”をそのままに受け入れた業務形態を可能とするように見え、コンセプトにおいては確かに“人間性”をそのままに受け入るものではあると思われる。しかしながら、どのようなコンセプトであろうとも実際の業務形態とするためには具体的な一連の手続きとして規定されることが必要であり、CRMは、この具体化のプロセスにおいて、そのコンセプトにおいて利点と考えられた性格をほとんど失ってしまう。CRMは、“人間性”に対する観測結果を基に構築される概念であるから、これによって「パイロットやその他の要員が何を行うべきか？」という問いに対する解答はもたらさない。CRMの考え方は、具体的に想定される状況において、「要員の内の誰が何をなし得るか？」「また何をしようとするのか？」と言った問いに対する解答を与えるのみである。

先にも述べたように、筆者は、「航空安全の向上において最も重要な役割を果たすものは要員の人間性である」と考えているが、CRMは直接には、パイロットを含む要員の職業倫理観の向上等をもたらすものではあり得ない。

現実的な効果としてCRMはその実際の業務への導入においてLOFTと呼ばれる訓練形態を伴うため、要員が相互に経験を共有することによるメリットは存在する。しかし、また、このメリットもシミュレータによる訓練の限界を越えるものではない。

#### 2) 心身診断と疲労計測

カオス論的な疲労計測装置は、将来的な航空交通の安全性の向上における効果について、筆者が最も期待している装置である。この装置は、パイロットや管制官の発話音声から、彼等の疲労状態を判定しようとする装置であり、「エンジンやモータが壊れる前にノイズを発生するように、人間もくたびれてくると、その発話音声にカオス論的ノイズが含まれている」という観測の事実とその原理を置いている。

発話音声をカオス論的な信号処理手法により処理し、その第1リアブノフ指数の変化を継続的に観測すれば、高い第1リアブノフ指数値が数十分以上継

続した場合に、発話者は疲労感を訴える。現時点では、第1リアブノフ指数値は、その発話者の脳の活性化度或いは負荷レベルに比例すると考えられ、「高い負荷状態が継続した場合に発話者は疲労を訴えた」と理解される。従って、パイロットや管制官において、その発話音声から、彼等が長時間にわたって高い負荷状態に置かれていると判断された場合には、必然的にヒューマン・エラーを起こす可能性も上昇しているであろうから、ヒューマン・エラーを起こす前に休息の指示を出せば、或いは疲れ切っていない者との交代を指示すればよいわけである<sup>7, 8, 9, 10)</sup>。

航空機のパイロットを、エンジンのような部品と同様に、そのパフォーマンスをリアルタイムにモニターし、何等かの形でそのモニター結果を業務内容にフィードバックすることができれば、従来の安全性向上のための手法とは全く独立した手法において、航空機運航の安全性の向上が図れると考えられる。

カオス論的な心身診断技術は、被験者の職務適性等の判定にも有効と考えられる技術である。この技術によれば、従来は自己申告による他はうかがい知ることのできなかつたプライバシーをも暴かれる可能性があり、その利用については、ガイドライン等が今後の十分な検討により策定される必要があるとは考えられるが、『悪意の存在』等に対するスクリーニングを目的とすれば、航空交通システムをテロリスト等から守るためにも利用できるものでもある。

筆者は、人間性の理解に係るパラダイムを転換させる可能性を有するカオス論的な心身診断技術は、航空交通システムの安全に係るパラダイムについても、これを次のパラダイムに導くであろうことを信じている。

#### 4. おわりに

本稿においては、多少冗長であったとは思いますが、まず“安全性を検討することの意味”に関する考察を述べ、筆者がその様に考えるに至った経緯の一部をケース・スタディーとして述べた。

ケース・スタディーにおいては、より客観的な記述に努めるべきではあったかもしれないが、そもそも「全ての文には、ある主観に囚われた作者が存在する」ことは自明のことであるから、あえて客観性を粧うことなく、主観的ではあっても、曖昧にならない表現に努めた。ケース・スタディーとして語られる内容が常に一面からの知見しか与えないことは、その原理的な欠点とも考えられるが、その原理を理

解しての上で検討すれば、読者に新たな知見を与える可能性は十分にあるであろう。

さて、「如何なる命題であってもその真偽は文脈に依り変わる」ものであり、この命題さえもその真偽がその文脈に依るものであることを前提として、以下、本文に記した[問い]に対する筆者の答えを述べたい。なお、言語は常に抽象的なものであり、これに依り具体的な施策に例外なく資する様な事柄を記すことは不可能であり、即ち、読者には、歴史的な善政や悪政といったものが全て為政者達の資質に依っていたことへの了解を確認する。

ゲーデルによる二十世紀の偉大な発見、即ち「辞書や文法書が仮に無矛盾であったとしても真偽の判定が不可能な命題は常に記述可能である」こと等を引合に出さなくとも、良心的であるならば、個人的な思索が常にきわめて限定的なものであることを自覚できるはずであり、今日においては、独善が歴史の悲劇を生み、無責任と無関心がその悲劇を拡大させたことを理解できるはずである。

従って、筆者は、以下の各問への答が独善、或いは無責任とは見做されないことを希望する。

[第一の問いへの一つの答え]

安全目標の設定が明確化されていないことが問題であり、各航空会社等はそれぞれの安全目標を公表し、その実現可能性について、或いはその安全目標が実現されていることを具体的に論述表明すべきではなからうか。

これは情報公開の一環として実施可能なことと思われ、意見や批判を広く受け入れることにより継続的に問題意識を持ち続けることが可能となれば、安全対策の形骸化を遅らせることができるであろう。

安全に費やす経費等についても十分な情報を公開すれば、安全性を犠牲にするような価格破壊競争等は回避することができるのではなからうか。

[第二の問いへの一つの答え]

現状の航空交通の安全性は、最も高度な安全工学技術の成果に他ならない。

1,000万回の飛行に対して1回の事故発生確率は、優良航空会社において手抜きをしなければ達成できる安全性が実現されているに他ならないわけであり、乗客等利用者に、優良な航空会社をそうではない航空会社と識別できるだけの情報が提供されるのであれば、この安全性は維持されるであろう。

[第三の問いへの一つの答え]

航空機の自由度の高い運動性能は効率的な運航や



障害の回避に有効と考えられる場合もあるが、現実的に、旅客機の運動性能は期待される程には高くない。また、そもそもレールの上に障害物の存在しない鉄道に比較しては、運航空間に山等障害物が存在する航空機の安全性は比較的にも制限されたものとならざるを得ない。

CFIT (Controlled Flight in Terrain : 操縦しながら山等に突っ込むこと) を防ぐことは、現状の安全性向上にきわめて重要であり、さまざまな提案や技術開発が進められており、GPWS (Ground Position Warning System) の実現には航空安全の向上が期待されている。

なお、新幹線の安全性に比較して、一般鉄道の安全性はそれほど高くはないのかもしれない。平成13年度において11件の事故が報告されている<sup>4)</sup>。

[ 第四の問いへの一つの答え ]

筆者は、我々は皆、統計的に小さな数値を“例外”としてしか認識し得ないと考えている。また、筆者には、各人は自らが個人として尊重されることを強く欲しながらも、およそ統計的な例外となることを想像し得ないているように見える。

以下、筆者は、かなり主観的であるかもしれないが、「人間は、多少なりとも危険なことや、法的にか、また道徳的にか好ましからざることを行おうとする場合、初めは他に選択肢が無いことを言い訳とし、以降は自らの経験を前例とした判断を下す訳であり、自分自信に対してさえ無責任になる」と考えている。

自動車を運転する場合、自らが事故を起こす事態を想像し得ないのであれば、その心理は犯罪の常習者と何等変わるところはないのではなからうか。犯罪の常習者に逡巡がつかまとうのであれば、道徳的には、より程度は悪いであろう。

上記問いへの答えに拍子抜け、或いは読者においては、怒りや憤りを覚えられるかもしれないが、筆者は、未だ回答が見つからない安全性向上に関する問題を、可能であれば筆者の視点から、一緒に考えていただくために本稿において [ 問い ] の形式を採ったものであることをご理解いただかなければならない。

これは、[ 第一の問いへの答え ] の前に述べたように、言葉による記述は常に曖昧さを残し、従って言葉によっては相対的な記述しかできないのであって、議論の前提を無限に拡大すれば、全ての命題は

無意味なものになってしまうからである。

なお、本稿の前提や筆者の背景は第一章の終に、また第三章の初めに述べたとおりである。筆者はできるだけ、良心的に本稿を執筆し、また上記答えを記したつもりである。

さて、以上において、将来的な航空交通の安全性について、残念ながら、筆者があまり明るい展望を有してはいることをご理解いただけたと思う。[ 第一の問い ] に対する答えも、一つの回答例を示したに過ぎず、全く十分なものではなかったであろうが、これについても、多分誰も明確には答えることができないであろうことをご理解いただけたのではなからうか。

しかし、必ずしも、安全性の向上が絶望的であるわけでもなく、新たな技術の導入と普及が常に想像もしない未来をもたらしてきたことは歴史的な事実であり、今後暫くの間は我々に幸運が続くことを期待しても悪くはないのではなからうか。

#### 参考文献

- 1) F. H. Hawkins著、黒田勲監修『ヒューマン・ファクター』成山堂書店、1992年
- 2) 第4回ICAOヒューマン・ファクターズ・シンポジウム、12 15、1999年
- 3) <http://www.motnet.go.jp/araic/aircraft/toukei/index.html> (航空事故統計)
- 4) <http://www.motnet.go.jp/araic/railway/report.html> (鉄道事故調査報告)
- 5) <http://www.jas.co.jp/crm/jascrmindex.htm> (日本エアシステム)
- 6) 『データ通信対応ターミナル管制卓の研究』電子航法研究所 = 沖電気工業株式会社共同研究報告書、平成11年
- 7) 塩見、廣瀬「音声から眠気や疲労を検出する試みについて」平成11年度飛行機シンポジウム、平成11年
- 8) 塩見「音声によるヒューマン・ファクタ評価手法について」第32回運輸省電子航法研究所研究発表会
- 9) K. Shiomi, S. Hirose: Fatigue and Drowsiness Predictor for Pilots and Air Traffic Controllers, 45th Annual ATCA Conference, 2000
- 10) 塩見、板野「カオス論的疲労予知技術について」第1回独立行政法人電子航法研究所研究発表会