



航空システムにおける人間工学の役割

–パイロットと航空交通管制官とをつなぐインタフェースについて–

垣本 由紀子*

A Role of Ergonomics in Aviation Systems

– Interfaces Problems Between Pilots and Air Traffic Controllers –

Yukiko KAKIMOTO*

Abstract– In this document, interfaces between pilots in a cockpit and Air Traffic Controllers (ATC) are discussed using the aircraft accident investigation reports by Japan Transport Safety Board. Specially in the case of near midair collision, TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) RA (Resolution Advisory) issued both in aircraft A and aircraft B, but ATC could not get TCAS information through their radar system. So possibility of TCAS data downlink from aircraft to radar display in ATC was discussed. Simultaneously usability of reminders in ATC system was discussed. There existed some gaps between controllers working position and the displays of reminders.

Keywords– near midair collision, ATC, TCAS, reminders

1. 序

航空機の発達と人間工学の関係は極めて深い。人間工学発展のきっかけとなったのは、第2次大戦中に多発した航空機事故であることはよく知られている。当初は、航空機の設計的な誤りではないかと疑われ、多くの航空工学者が集められ討議した結果、工学的には問題ないことが判明し、次いで航空心理学者が集められ検討した結果、原因は、航空計器の読み間違いであることが判明した。特に、高度計はアナログで表示されており、一つの計器を三針で、読み分けることであった。すなわち万（最も長針で細長い）、千（太くて短針）、百（万と千との中間タイプ）の単位を、針の長短で識別するものであった。山腹に衝突するケースが多く、実際の高度より高いと読み間違った結果と考えられる。現在での高度計は、多くはデジタル表示ないしはアナログとの組み合わせで使用されているが、小型機等ではアナログ表示で表示されているものが多い。

これらの分析を通して、「使いにくいものは使いやすく変える」という人間工学の原点の発想が生まれた。高度計のみならず、計器設計デザイナーが、ユーザのためという発想がなく、デザイン的にしやれて作成した結果、

ユーザであるパイロットに負担を強いる表示器や操作具が存在していた。1903年に、初めてライト兄弟がフライトして以来、約40年経過の当時は、航空機製作は花形産業であり、製作者にとっても使いやすさよりデザインを優先した時代であった。

この時代から約70年経過した今日、航空機の歴史は、ジャンボ機時代を経て、操縦がコンピュータで制御される時代へと突入している。ボーイング社の最新機はB787であり、エアバス社A380がこれらに相当する。いずれも、パイロットの負担をいかに軽減するかに焦点を当てて開発がすすめられてきており、開発には人間工学的発想が取り入れられてきている [1]。

20世紀はテクノロジー発展の100年であり、航空機同様、航空交通管制システムにおいても著しい技術的発展がみられた。航空交通管制システムは、航空システムの中で重要な役割を負っており、全ての航空機は、管制官から離発着の許可を受け、どのコース、どの高度を航行するかの指示を与えられ、指示通りの航行が求められている。航空交通管制業務なしでは、近代航空の運航は成り立たない。航空交通管制の当初は、パイロット同士の合図でスタートした。その直後は、交通量の増加に追い付けず旗を振って合図をしたと記録にある。わが国では、第2次大戦後、航空交通管制は、米空軍から徐々に引き継ぎが行われ、昭和31年11月には、松島、浜松、美保、築城に日本人の管制官が技術習得のため現場に送

*立正大学大学院心理学研究科 東京都品川区大崎 4-2-16

*Rissho University, 4-2-16 Ohsaki, Shinagawa-ku, Tokyo

Received: 31 January 2011, 19 February 2011

り込まれたのをきっかけに、翌32年4月「日米 ATC 合意」に基づき、管制権が日本に移管された。33年3月には大阪空港、33年7月には東京国際空港、また、33年9月には小牧及び千歳空港で、管制権が日本側に移管された。遅れて、46年7月には板付空港に、47年5月には沖縄空港で、管制権が日本側に移管された。(注：飛行場で実施するのは飛行場管制。札幌、東京、福岡、および那覇の4か所の管制所で実施するのが、航空路管制。) このように歴史的には、第1世代から、今日の第4世代までシステムの自動化が進展してきている [2].

しかし、テクノロジー進展の中で、パイロットと航空交通管制官との間の通信は、人と人とのコミュニケーションを経由して行われるつながりであり、両者のやり取りは通信により現在まで継続している。航空システムのコンピュータ化が進む中で、人を介するという意味においてウイークポイントと言われている。その理由は、「To err is human (人は誰でもエラーをおかす)」。これが前提であるからである。通信のみのコミュニケーションであるがゆえに、お互いにそれぞれが、相手の状況を知ることが出来ない中で行われるのが特色である。

通信によるコミュニケーションは、双方にコミュニケーション齟齬を引き起こす。聞き違い、誤った認識、聞き落とし、管制官の意図と異なる指示の発出等がエラーとなることが起こり得る。パイロットの方は、もう一度聞きたいと思っても、聞きなおすことにためらいを感じ、「恐らくこうであろう」と判断し管制官の意図を推測した行動に出ることが起こりうる。Linda J. Connell の ASRS (飛行安全報告) の分析から、不適切なコミュニケーションはどちらが多いというわけではなく、フィフティフィフティであると述べている。

本稿では、このような機上のパイロットと地上とをつなぐ航空交通管制官との間のインタフェースについて、具体的航空事故事例・重大インシデントを取り上げながら航空交通管制官の作業を中心に考察を進める。

2. 事故／インシデント事故にみるインタフェースの問題

2.1 <事例1>ニアミス事故(航空事故調査報告書 2002-5) [3] からの問題提起

本事故は、2001年1月31日、15時55分頃、羽田国際空港から那覇に向け、高度39,000ftを目指し左旋回上昇中のA機(JAL907便)と釜山から成田国際空港へ向け降下中のB機(JAL958便)とが、静岡県焼津市沖の上空でニアミス事故を発生させたものである。双方が回避操作を行ったが、A機において回避操作の機体の動揺により乗客及び客室乗務員が負傷した(9名が重症、91名が軽傷を負った)。B機は、負傷者はゼロであった。

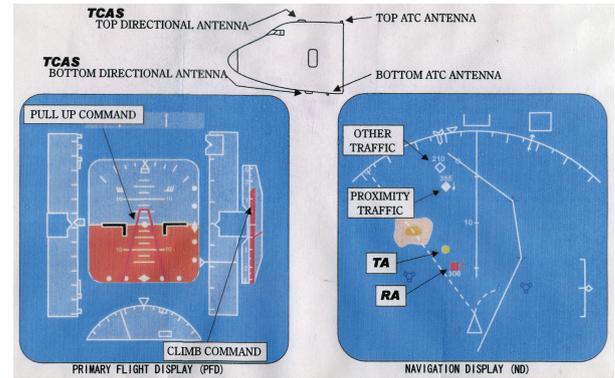


Fig. 1: A機のTCASアンテナ位置及びTCAS情報表示器の説明図 [3]

事故の直接的なきっかけは、東京航空管制部のレーダー画面に、A機とB機との異常接近を知らせる赤色のCNF (Conflict Alert) ランプが点滅したことにより、レーダー対空席に配置されていた訓練中の航空交通管制官は、上昇中のA機に35,000ftまでの降下指示を発出した。訓練中の管制官は、降下中のB機へセパレーションを広げるために降下指示を出すつもりが、間違っ上昇中の「A機」のコールサインを発したことによる。

CNFが点滅する前は、訓練中の管制官は、一時的に交通量が減少したのを見計らい、監督中の管制官から交通の流れについて説明を聞いていた。B機存在を一時的に失念していた。そこへCNFが点灯し、心理的に緊張し、B機と言うつもりがA機と発してしまったものと推測される。A機機長からは「JAL907降下します」のコールバックがあった。907便とコールサインが含まれていたが、訓練中の管制官も監督中の管制官もこの言い違いに気付かなかった。

ヒューマン・マシンインタフェースとしての課題は、このような異常接近になった場合、航空機側では、コンピュータにより制御されているTCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System, 空中衝突防止装置) が作動し、衝突回避の音声ボイスが流れ、同時にディスプレイ上に2機の位置関係が表示され、上方か、下方へと回避させる。TCASは、空中衝突を防止するための安全上の最後のよりどころであり、航空機にとっては画期的な機器である (Fig. 1)。

TCASは、差し迫った危険のある航空機に対して航空機のトランスポンダーから情報を得て応答する。TCAS発出には、TA (Traffic Advisory) とRA (Resolution Advisory) との2種類が存在する。TAの場合は、もう1機のトラフィックが、近くに居ることを知らせるだけで、パイロットは特に行動を起こす必要はない。しかし、RAが発出された場合には、即指示に従い上昇か、降下を開始しなくてはならない。本件の場合、このRAが発せられていた。上昇中のA機には、TCASはボイスによ

り「Climb, Climb」を指示した。一方 B 機の TCAS は、「Descend, Descend」を指示した。降下中の B 機はこの指示に従った。A 機は、コンピュータの指示とは矛盾する管制官の指示に従った。CNF 点灯から 2 機の最接近までは通常は予想される最接近の 3 分前に作動するが、本件では 56 秒前であった。理由は、左旋回中であったため、トランスポンダーの応答が遅れたためである。

ICAO (国際航空空間機構) のマニュアルにより、TCAS RA が発出された場合、パイロットは RA が発出され、それに従って動いていることを管制官に知らせることになっている。報告を受けた管制官は、たとえ指示した高度やポジションと異なっている場合でも、何らかの措置をしないことに決められている。

本事故が幸いしたことは、発生時刻が日中である上、お互いに相手機が見えていたことである。最終的には、相手機を視認しながら A 機が B 機の下を急降下でかいくぐり惨事を免れたが、負傷者が 100 名発生した。

人間の能力は有限であることはよく知られていることであり、相手機が見える範囲は限られているが、コンピュータは、人間が感知するはるか前から相手機を感知し、表示器を通してボイスとともに「上昇」又は「降下」の指示を知らせる。この機器の開発は、パイロットにとっては極めて待ち望まれた画期的な機器であった。旅客機はいずれもこれを搭載している。しかし、本事故発生時、管制官側は、TCAS 情報は、レーダー上に表示されるシステムを有せず、上空でパイロットがそれに従っているのかいないのか、パイロットから通報がない限り管制している航空機が TCAS の指示による行動をしているのかいないのか情報が得られないという問題が存在していた。

事故発生から 10 年経過した 2011 年 1 月現在において、機上の TCAS RA 情報を Downlink するシステムは 2005 年ころから検討されているが運用されるに至っていないのが実情である。

次に示すような事項が課題として考えられる。

- ① 管制官の指示と TCAS の指示とが違った場合のパイロットの対応
- ② 管制部のレーダー上に TCAS が表示されないこと
- ③ 管制部のレーダー上に TCAS 情報がダウンリンク出来るためのシステムづくりとその是非について

2.2 <事例 2>閉鎖中の滑走路への着陸 (重大インシデント, 2003. 4. 29, 羽田空港滑走路上) [4]

羽田管制塔の飛行場管制席の管制官は、JAL A 機に A 滑走路 (R/W 34 left) への着陸を許可した。しかし、

JAL A 機のキャプテンは、離陸時の千歳空港にて、羽田 A 滑走路は、工事中で、着陸できないとの情報を得ていた。そこで、着陸許可を得たとき、次のような交信が行われた。

“Confirm Runway three four Left, OK?” これに対し、管制官から、“Runway Three Four Lima, Cleared to Land.” と確信的な応答が返ってきた。疑問を抱きながらも JAL A 機は、滑走路 34L に実際に着陸した。幸い工事が始まっておらず事なきを得た。滑走路 34L が閉鎖されることの情報について、それを知らせる担当者が、閉鎖の時間を勘違いしており情報を失念したことがきっかけであったが、滑走路閉鎖を思い起こさせるためのリマインダーが、有効に使われていなかったことを示している。リマインダーは、閉鎖滑走路をパソコン上で目立つ色彩で表示し、それを見ればリマインドできるようになっていたが、着陸許可を与える飛行場管制席の管制官は、極めてトラフィックが多く立位の姿勢でアプローチしてくる着陸機を見ながらの管制で、その作業位置では、リマインダーは意図しない限り見えない位置にあったものと思われる。前述したように、原則通信のやり取りは英語による管制用語を用いて行われるが、航空・鉄道事故調査委員会報告では、緊急の場合は日本語にて確認でもよいのではないかと提言した。パイロットは、three four left?の個所を協調したという口述であったが、航空事故調査委員会でも聞いた限りにおいては、強調している様には聞こえなかったということである。「滑走路 34 Left は、閉鎖と聞いているがよろしいのですか？」とでも問い合わせれば事なきを得たのではないかと討議された。このようなミスをしてでも大事に至らないシステム作りが求められる。

リマインダーとは、管制官に、閉鎖されている滑走路や、滑走路点検車両が入っているなど必要事項を思い出させるための工夫であり、パソコン画面上に表示される。記憶する事項が多数存在する中で、必要な時間だけ画面として提示されることは、ワークロードの減少につながる。しかし視覚表示器であるため、その方向に目を向けない限り認知されないという特色を有する。この事例には、交信上の問題とともにリマインダーの在り方をどのようにしたらよいかの人間工学的課題が含まれている。

2.3 <事例 3>滑走路誤侵入 (重大インシデント AI2010-7, 2009. 3. 20, 伊丹空港) [5]

ANA 18 機は、今回は自分たちに許可が来る番と期待しながら離陸許可を待っているとき、飛行場管制席管制官から“ANA 181 Cleared for Takeoff”の着陸許可が来た。ANA 18 は、同時間帯に類似したコールサインの航空機が存在しているという情報を双方とも持たないため、One Eight One の One Eight と聞いた段階で、自分たちへの許可と認識し、滑走路 B に侵入した。ちょうど

その時点で着陸進入中の JEX 2200 がいたが、侵入機を目撃し、JEX 2200 は、着陸復航 (Go Around) し、事なきを得た。「Wishful hearing (期待したように聞く)」という人間の特性を考えれば、ANA 18 機が 181 便を 18 便と聞いたとしても起こりうるエラーと考えられる。

管制官へのインタビューでは、管制官自身は、多くの便名を扱う中で、「類似」という発想は持っていないことが分かった。一方、パイロットは、どのようなコールサインの航空機が同時間帯に存在するか等の情報を持っていない。両者のギャップを埋めるヒューマンファクターに関する工夫が求められた。

3. インタフェース上の問題点の把握

3.1 TCAS の機上からのダウンリンクについて

わが国においては、2001 年のニアミス事故を受け、機上からのダウンリンクについて検討はされたが実用化されるに至っていない。課題の一つは、管制側の情報更新のためのレーダーが 10 秒に 1 回で回転する。航空機のスピードを考え、TCAS RA が出現してからの対応を考える場合、10 秒に 1 回転では対応が現実的ではないことになる。

機上からのデータダウンリンクの是非については、すでに 1995 年から多くの研究論文が出されている。Hoffman 等の研究は、アメリカのボルチモアからボストンの間を対象に 1994 年から 1997 年の間、実際の管制作業の中で管制官を対象に模擬的な実験が行われ、2,652 回の RA がダウンリンクされた。技術的な面と操作的な面から評価され、結果はいずれもポジティブな評価であった。しかし、米国連邦航空局 (FAA) は、規則等の関係からダウンリンクの実施を見送った。すなわち、一旦パイロットから RA の情報を得た場合、管制官は、当該機にクリアランスを発出できないことになっている。ダウンリンクによる RA 表示は、パイロットからの報告ではないため、管制官がクリアランスを発出出来るかどうか明白ではないというのがその理由であった。また、ダウンリンクは、管制官に、航空機に対するセパレーション (間隔) に関わなくてもよいという誤った認識をもたらすのではないかという議論も活発に行われた。その後フランスにおいてもデータベースのダウンリンクについて研究が行われたが、利点が限定的であると結論づけ、ダウンリンク採用には至っていない。多くの研究は、RA ダウンリンクが経験的研究がないこと、問題点の解明が十分ではないと結論付けた [6]。

3.2 管制作業におけるリマインダーについて

航空交通管制官の仕事 (以後「管制作業」) は、それぞれの管制席にて管制官が、独立して情報処理作業を

行う。航空機 1 機だけの管制を行うことはまれで、多くは同時に複数機の管制を行っている。すなわち、同時多重情報処理を必要としており、非常にワークロードの高い作業と言える。同時に何機ぐらいの管制が出来るかということになるが、経験が大きく影響するが、10 機から 14,5 機を管制している。独立した情報処理と前述したように、多重処理で負荷が大となっても自身で円滑に交通量をさばかなければならない。1 機にのみ注意を集中することは適切ではなく、注意の配分を適切に、円滑に、継続的に実施していくことが求められる。特にワークロードの高い離発着の許可 (クリアランス) を与える飛行場管制席では、1 時間ごとに席を交替するという厳しさである。記憶に頼る管制作業であるが、管制官をサポートする目的として存在しているのがリマインダーである。リマインダーは、いずれも視覚表示器 (パソコン画面) であり、① 風向風速を示す情報、② 閉鎖滑走路の表示、③ 到着機の自動表示である。

一方、特にワークロードの高い飛行場管制席は、座位にて作業するというよりは、交通量が多くなると、よりよく視認できるよう立位で左側又は右側 (風向により異なる) に寄り管制作業を実施する。専らヘッドアップ姿勢となり「外をよく見ること」になる。特に進入中の航空機は、立位姿勢の方が見やすいためである。立位姿勢でディスプレイを見るためには、ヘッドダウンしなければ情報を見ることはできない。交通量が増え忙しかなればなるほどヘッドダウンしディスプレイを見る余裕はなくなることになる。すなわちリマインダーのインタフェースが有効に使えないという矛盾が存在することになる。

使用禁止の滑走路情報を入力するためには、キーボードを引き出し、入力し、マウスにて、メニューから必要項目をクリックする等、3 ステップ以上は必要になり、さらに外部を見ていた管制官は、マウスでクリックするためには焦点を合わせなくてはならない。忙しい中で、機器の特性に合わせるための負担が増加することになる。

一旦管制官が航空機の流れをセットアップした中に、風向の変化、視程の悪さ、滑走路ライトの点灯等が入り込むと、流れに乗って実施している管制作業は乱されることになる。新たな事象に注意が向くと、「し忘れ」や失念が発生することはだれにも起こりうることである。ハードウェアが技術的に優れたものであっても使用するユーザの管制官の仕事と作業姿勢の中で使いやすくインタフェースを設置することが求められる。

また、かなり古い時代から IFR (計器飛行方式) 機専用に使われてきたストリップカードが VFR (有視界飛行方式) 機にも適用されており、リマインダーとして効果があるという報告がある。1 機ずつの情報が手元に置かれ、実施されたタスクを鉛筆等で自らの手で消してい

Table 1: 事例にみる機上と管制席とのインタフェース

| SHEL モデル | インタフェース上の問題 |
|----------|---|
| L-H | 事例 1 TCAS 情報のダウンリンクができない。 CNF 点灯が旋回中の航空機では 3 分前に点灯しない。 事例 2 飛行場管制官は、リマインダーとしての情報が使いにくい。 事例 3 類似コールサインについての情報提示が存在しない。 |
| L-S | 事例 1 TCAS 情報と管制官の指示とが違った場合の手順があいまい。同じ航空会社であっても A 機は管制官の指示に従い、B 機は TCAS の指示に従った。 事例 2 パイロットが疑義を持った場合の確認法。リマインダーを有効にするための工夫。 事例 3 類似コールサインが同時時間帯に存在することを管制官が知るための工夫や認識がなかった。 |
| L-L | 事例 1, 2, 3 ともパイロットと管制官との間の適切なコミュニケーションの実施。 齟齬が生じないための工夫。 |
| L-E | 滑走路の位置と管制塔との位置の関係。特に事例 3 は管制塔内から滑走路内の航空機の動きが見えにくい。 |

く古典的なやり方である。管制の作業を阻害せず、手順化されていれば、今後とも重要なリマインダーとして継続されていくことが予想される。

少数例ではあるが、事例から機上のパイロットと管制官との間に生じたインタフェースの問題を SHEL モデル (Hawkins, 1975) により整理すると **Table 1** の様になる。

4. まとめ

技術的に高度に自動化された航空機システムの中で、航空機側と航空交通管制作業をつなぐインタフェースは、

ソフト的には、通信による人と人のコミュニケーションであり、他は、ハード的に機上の情報を管制部レーダー上にダウンリンクを当面の課題として取り上げた。

いずれも、問題点は認識されながらも今日的に解決していない問題であり、しかも内容が、人間そのものの特性と関り、ハード面及びソフト面が歩み寄り解決することが求められる。その意味において、まさに人間工学的課題と言える。

現実的な課題の解決のためには、離陸から着陸までの流れを理解し、コントロールしているのはパイロットだけではないことを理解することが必要であり、増加する交通量の中で、作業負荷が増加する航空交通管制官の業務を理解することが求められる。将来的には、航空交通管制官を経ないで、航空機が自由にフライトできるフリーフライトの発想もあるが、現実化するの程遠く、人と人、人とハードウェア、人とソフトウェア、人と環境、という SHEL モデルに見るように、人間をあくまでも中心に人の特性を生かしながらインタフェースの問題も解決していくべきと考えている。

参考文献

- [1] 日本航空機操縦士協会: “50 年誌,” 日本航空機操縦士協会, 2007.
- [2] 航空交通管制 50 年史編纂委員会: “航空管制 50 年史,” 航空交通管制協会, 2004.
- [3] “航空事故調査報告書,” 2002-5, 2002.
- [4] “重大インシデント報告書,” AI2006-1, 2006.
- [5] “重大インシデント報告書,” AI2010-7, 2010.
- [6] D. M. Dehn, S. Drozdowski, J. Teuch, and B. Lorenz: “Downlink of TCAS Resolution Advisories; A Means for Closing the Gap Between Pilot and Controller?,” J. of Aviation psychology, 20(4), 2010.

垣本 由紀子



早稲田大学心理学専修卒業後、防衛庁航空医学実験隊に心理職技官として勤務。防衛庁退官後 (1997 年)、鹿児島県立短期大学、実践女子大学教授。2007 年実践女子大学退職。現在、立正大学大学院心理学研究科非常勤。2007 年から日本ヒューマンファクター研究所顧問兼安全人間工学研究室長。実践女子大学勤務中 2001-2007 年まで、航空・鉄道事故調査委員会 (現運輸安全人会) 委員を務めた。