

## トンネル型ディスプレイによる曲線進入時の パイロット・ワークロード評価

飯島朋子\*

舩引浩平\* 村岡浩治\*

航空宇宙技術研究所では、住宅過密地にある地域空港周辺の騒音を低減することを目的に、トンネル型ディスプレイ（TISディスプレイ）表示方式を用いた曲線進入方式の研究を行っている。本研究では、曲線進入方式におけるパイロットの認知的タスクやトラッキング・タスクの問題点を抽出する手法を確立することを目的に、四つの曲線進入用経路を作成し、飛行実験によるパイロットのワークロードの評価・分析を行った。ワークロード評価には過去に提案されているNASA-TLX手法を本評価用に改修したものをを用いた。本評価および分析の結果、ワークロード指標の要素とTISの表示および経路上の問題点が関連付けられ、曲線進入方式における認知的タスクやトラッキング・タスクの問題点の抽出が可能であることが確認された。

### Pilot Workload Assessment for Curved Approach by Tunnel-in-the-Sky Display

Tomoko IJIMA\*

Kohei FUNABIKI\* Koji MURAOKA\*

@The National Aerospace Laboratory iNAL jis carrying out the research of curved approach by using Tunnel-in-the-Sky iTIS jisplay for reducing ground noise by adopting approach routes, which avoid highly populated areas. Pilot workload assessment and analysis for prepared four curved approach patterns was conducted to develop the evaluation method to extract the key issues of cognitive and tracking tasks for curved approach. The scoring method by using NASA-Task Load Index was improved for this pilot workload assessment and analysis. The assessment and analysis results indicated that the evaluation method could correlate between workload index elements hand key issues of TIS display and approach patterns and to extract the problems for cognitive and tracking tasks.

#### 1. はじめに

近年、都市部の飛行場における運用時間の拡大や離着陸機の増大と、地上への騒音の軽減という相反する要求から、各国において、空港のキャパシテ

ィを維持しつつ空港周辺の騒音問題を解決するための研究が進められている<sup>1)</sup>。対策の一つとして進入経路を従来の直線から三次元的な曲線に変更し、住宅過密地を避けた進入経路を複数設定することで騒音の分散などを目指す方法がある（Fig.1）。

以上の観点から、航空宇宙技術研究所（以下、航技研）においても住宅過密地に置かれた地域空港の効率化を目指した研究を実施してきた<sup>2-6)</sup>。これらの研究では、曲線進入や深い進入角と浅い進入角を組み合わせる二段進入を実現するために、GPSを

\* 科学技術庁航空宇宙技術研究所飛行研究部シミュレーション研究室  
Flight Systems Research Center, National Aerospace Laboratory, Science & Technology Agency  
原稿受理 2000年7月17日

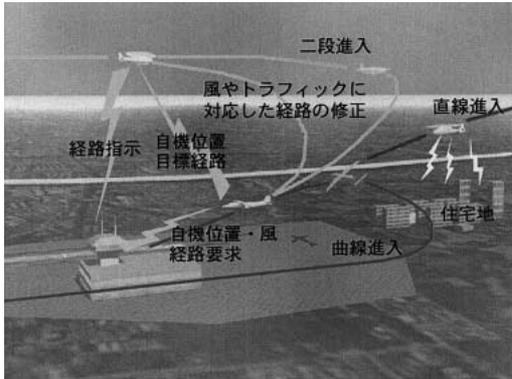


Fig.1 騒音軽減のための進入方式

用いた精密位置計測技術やパイロット・インターフェースの構築に焦点を当てている。

パイロット・インターフェースとしては、当所において手動操縦による精密曲線進入のためのトンネル表示方式のディスプレイ (Tunnel-in-the-Sky; 以下、TISディスプレイ) に関する研究を実施してきた<sup>3-6)</sup>。手動操縦による精密曲線進入を実現するためには、従来のコマンド型FD (Flight Director) やローカライズおよびグライドスロープ偏差表示は現在の偏差情報のみしか与えないために不適切である。よってこのような進入方式に対しては、目標の飛行経路を透視図的な「トンネル」で表示することによって機体前方の経路がどのようになっているかの予測を与えることが有効であると考えられている<sup>7)</sup>。

当所では現段階までに、TISディスプレイを用いた飛行シミュレーション評価<sup>3)</sup>およびDo228-200型機を用いた曲線進入飛行実験を実施<sup>4-6)</sup>し、実飛行環境におけるTISディスプレイの妥当性と操縦性の評価を行った。

これまでの評価では、パイロット・レイティング<sup>8)</sup>や数値データ等を用いて、表示方式や曲線経路を設定する上での問題点の抽出を行った。しかし、これまでの評価方法では、曲線進入方式における問題点が表示方式に起因するのか、経路の設定方法なのか、あるいは経路のどの部分なのかを明確にするのが困難であった。パイロット・コメントから多くの知見は得られたが、コメントと数値的な評価が一致せず、ワークロードとタスク・パフォーマンスの評価を分離できないといった問題があり、これまでに用いた評価手法は多くのケースを処理するには適切であるとはいえなかった。

そこで本研究では、曲線進入方式における評価手



Fig.2 トンネル型ディスプレイ (TISディスプレイ)

法を確立することを目的に、NASA-TLX (Task Load Index) 手法<sup>9)</sup>に着目してパイロットのワークロードの評価・分析を試みた。この手法に基づいて評価・分析を実施する理由は、この手法が他の手法に比べてワークロードの多次元性に注目しており、この手法の妥当性を検証するための研究が、曲線進入時に必要と考えられる認知的タスク (知覚、記憶、推論などを含む) とトラッキング・タスクにおけるワークロード評価を含んでいるためである。すなわち、この手法がどのような要因でワークロードが負荷されるかが明確でない新しい運航方式に対して有効であり、その評価結果を分析することで、認知的タスクやトラッキング・タスクに対する問題点の抽出が可能になると考えられる。

一方、NASA-TLXに使われている評定尺度の定義は航空機のcockpit内に共通に使用できることを目的に開発されたことから、抽象的なものとなっている。また、この手法は航空機の手動制御から監視制御までのワークロードの評価を対象としている。そこで本研究では、本評価で意図している認知的タスクやトラッキング・タスクに対する問題点の抽出が可能となり、パイロット間に解釈のばらつきが生じるのが少なくなるように、現存の評定尺度の定義を具体化した。さらに評価に対するパイロット間のばらつきを少なくするために、評価基準を設け、最終的な尺度値の計算方法として、AWWL (Adaptive Weighted Workload法)<sup>10)</sup>を用いた。また本評価では、評定尺度ごとの評価値を計測するだけでなく、認知的タスクやトラッキング・タスクに対する分析を行うために、評定尺度ごとにパイロット・コメントを取得した。

本稿では、TISディスプレイを用いた曲線進入の評価用に修正したNASA-TLX手法、および飛行実

験によるパイロット評価および分析結果について記述する。

## 2. トンネル型ディスプレイ(TISディスプレイ)

トンネル表示は、三次元的な目標経路を透視図法的に表示することでパイロットに対して目標経路からのずれに関する情報を与えるものである。実験に用いたTISディスプレイをFig.2に示す。この表示は通常のPFD(Primary Flight Display)にトンネルを重ねたもので、飛行に必要な情報が統合されている。

パイロットはトンネルの見え方、すなわちトンネルの広がり方等から、目標経路からのずれと目標方位からのずれを知ることができる。トンネル表示がどのようにしてパイロットへ位置および方位の偏差情報を呈示するかについては文献11)に詳述されている。

TISディスプレイに表示されるプレディクタは、慣性座標系における飛行ベクトルに現在のピッチ角とバンク角に基づく経路変化の予測を加え、一定時間後の機体の位置を示したものである。このシンボルにより機体の運動と経路の変化に対する予測がパイロットに与えられる。また、ゴーストは、自機の前方を等距離を保って目標飛行経路内を移動するシ

ンボルであり、上記のプレディクタをゴーストに合致させるように操縦する。これらの二つのシンボルの差は見かけ上は経路偏差であるが、姿勢変化に概ね一対一に対応するため、FDと同様の操縦性をもたらず。

## 3. ワークロード評価方法

本研究では、ワークロードの評価方法として過去に提案されているNASA-TLX手法を、本評価用に改修したものをを用いた。以下に本研究で用いた評定尺度の定義、評価の基準、評価値の計算方法について述べる。

### 3-1 評定尺度の定義の改良

NASA-TLXは六つの尺度項目、すなわち精神的要求(MD: Mental Demand)、身体的要求(PD: Physical Demand)、時間的圧迫感(TD: Temporal Demand)、作業達成度(OP: Own Performance)、努力(EF: Effort)、不満(FR: Frustration Level)から構成されている。これらの六つの項目について、低い(Low)/高い(High)または良い(Good)/悪い(Poor)の両極を持つ12cmの長さの線分上にするしをつけさせ、この六つの評価値から一つの総合値を計算する。

文献9)に示されるこれらの六つの評定尺度は航空機のcockpit内に共通に使用できることを目的に開発されたことから抽象的であり、定義に関する例が複雑になっているものもある。そこで本研究では、現存の評定尺度の定義や例を、パイロットがTISディスプレイから情報を取得する際の認知的タスクと、速度を維持(±10Knot; 以下KT)しながらトンネル内をトラックして着陸させるといったトラッキング・タスクに必要と考えられる項目に具体化した。また、抽象度の高い表現によるパイロット間の解釈のばらつきを少なくするために、現存の評定尺度の定義や例をより具体的な表現に変更した。本評価に用いた評定尺度の定義をTable 1に示す。

また、この評定尺度は最終的なTLX値を導出するためだけでなく、評定尺度ごとのパイロット・コメントを取得することで、ワークロードの高低を左右する要因を分析することに利用した。

### 3-2 評価に対する基準の設定

ワークロードの高低を評価する際に、評価の基準が重要となる。評価の基準を設けないと、パイロットそれぞれの主観で基準を決めて評価をすることになるので、妥当な結果が得られない。本手法は主観

Table 1 NASA-TLX評定尺度の定義  
- TISディスプレイ実験用に改編

項目	端点	定義
Mental Demand (MD)	低い/ 高い	どの程度の精神の集中、精神の負担、意志決定、思考、観察、記憶、予測を要求されたか?
Physical Demand (PD)	低い/ 高い	どの程度、身体的活動が必要だったか?(例: 3舵およびスロットル操舵の頻度が高かったか低かったか? 操舵が忙しかったか、ゆるやかだったか?)
Temporal Demand (TD)	低い/ 高い	タスクやタスク要素を達成するのにどの程度、時間的圧迫感(time pressure)を感じたか?
Performance (OP)	良い/ 悪い	設定されたタスクについて、どの程度達成されたと思うか? この目標達成における成績にどの程度満足しているか?
Effort (EF)	低い/ 高い	タスク達成度に到達するのにどのくらい一生懸命(精神的および身体的に)タスクを行わなければならなかったか?
Frustration Level (FR)	低い/ 高い	タスクの遂行中、どのくらい不安、いらいら、ストレス、不快感を感じたか?(安心感、喜び、リラックス、を感じたか?)

評価であるので評価基準を設ける必要がないという考え方もあるが、ここではなるべく客観性のある結果を得るために、評価の基準を設けた。

本研究では飛行実験に使用した航空機であるビーチクラフト式65型機「クインエア」(以下B65)で手動操縦による計器進入を行った場合のワークロードを基準として評価を実施した。例えば、ある曲線経路について評価を行う際にILS (Instrument Landing System) 進入方式と同等のワークロードであった場合には、パイロットは50を評点することになる。

### 3 - 3 評価値の計算方法

NASA-TLX手法の特徴は、六つの評価値から一つの総合点を算出するのに、個人ごとに算出された重み付け係数を用いることである。この手法は、各作業ごとに一対比較を行わなければいけないといった被験者の負担<sup>10)</sup>や、被験者が重み付け係数を0に選んだことによる被験者のばらつき<sup>12)</sup>が指摘されている。そこで、本研究では一対比較を行わないで重み付け係数を算出し、重み付け係数を0にしない手法AWWL法<sup>10)</sup>を用いた。

## 4 . 実験方法

以下に、本実験で用いた実験装置、飛行経路、および飛行実験手順について述べる。

### 4 - 1 実験装置

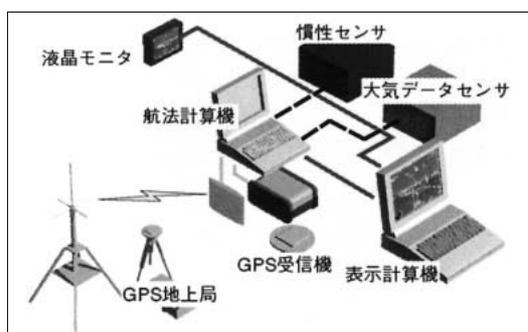


Fig.3 実験装置の概要



Fig.4 コックピット概観

B65に必要な機材を搭載して、実験を実施した。実験装置の概要をFig.3に示す。機上GPS受信機、GPS地上局、慣性センサ、大気センサの一部の情報は航法計算機に集約され、滑走路端を基準とした座標系に対する3次元位置情報が計算される。この位置データは表示計算機に送られ、パイロットへの表示画像が生成される。コックピットにはFig.4に示すように液晶モニタが仮設され、表示計算機で生成された画像がスキャンコンバータを介して表示される。

### 4 - 2 飛行経路

曲線進入のための飛行経路については、曲率や許容精度などの実運用のための設計基準が明確でない。今回の飛行実験では操縦性および飛行性の観点から今後の経路設計のための基礎データを取得するために、短い最終直線部、10度から15度程度のバンク、降下しながらの旋回を含むFig.5に示すような進入経路(基準経路)を設定した。なお、進入速度はどの経路においても105KTと想定した。

[経路C] バンク15度程度の曲線部、通常最終直線部(2NM)を持つ。

[経路D] バンク10度程度の曲線部、通常最終直線部(2NM)を持つ。

[経路F] バンク10度程度の曲線部、短い最終直線部(1NM)を持つ。

[経路G] バンク15度程度の曲線部、短い最終直線部(1NM)を持つ。

### 4 - 3 飛行実験手順

以下に飛行実験手順を述べる。被験者は航技研のパイロット2名であり、B65の操縦経験を十分に有している。

離陸後、目標高度まで上昇し、トンネルの入り口に向けて飛行し、トンネル経路に進入する前にフラップやギヤを降ろすなどの着陸形態を整える。その後、TISディスプレイを利用して基準経路に従って進入する。タスクは機体を経路内に保ち、速度誤差

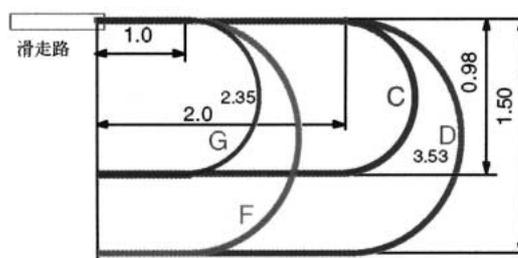


Fig.5 進入経路(単位: NM; Nautical Mile)

を±10KT以内に保持することであり、200ftまでTISディスプレイを見ながら進入し、その後外部視界を見て着陸する。

## 5. ワークロードの評価・分析結果

以下のワークロードの評価結果および評定尺度ごとのパイロット・コメントを基に、TISディスプレイを用いた曲線進入におけるパイロットの認知的なタスクや操縦性等の問題がどのような要因で生じるかについて分析するとともに、本評価法の妥当性について言及する。

### 5-1 Task Load Index (TLX) 計算結果

Fig.6にパイロットA、Bに対するTLX値を示す。Fig.6から、パイロットA、BともTLX値の数値自体に違いはあるものの、全体的な傾向としてD、F、C、Gの順にワークロードが高くなっていることが分かる。以下に各項目ごとの評価・分析の結果からTLXの結果について考察する。

### 5-2 Mental Demand (MD) 評価結果

Fig.7にMDの評価結果を示す。Fig.7から、パイロットAは、どの曲線経路においてもILS進入よりもMDが高くなっており、パイロットBはILS進入と同等のMDであることが分かる。

パイロットAからは、「機体の飛行諸元（対気速度、飛行経路、トリム設定等）を合わせるための思考、観察、予測に対する負担が高い。曲線部の操縦に対して風の方向性や強さが認識にくい」との所見が得られており、これは文献6)の結果に対応する。

曲線部における操縦方法は、無風であればバンク角を一定に保てば良いが、風がある場合は風の強さや方向によってバンク角を逐次変化させていく必要がある。すなわち、パイロットは、風に対して常にバンク角をいくつに設定するかを予測するとともに、機体運動の観察、思考を繰り返しながら操縦を行うことになる。

曲線経路飛行時にはパイロットは、直線部では水平を基準に、曲線部では適切なあるバンク角を基準に修正操作を行うことになる。水平線はTISディスプレイに常に表示されているが、曲線部における基準バンク角はトンネルの傾斜として与えられている。これは無風を前提に作られているため、定常風がある場合は適切なキューにはなり得ない。一方、ゴーストとプレディクタの偏差は風の有無にかかわらず必要なバンク角コマンドをパイロットに与えている。しかし風が強い場合や、経路から外れた場合には、

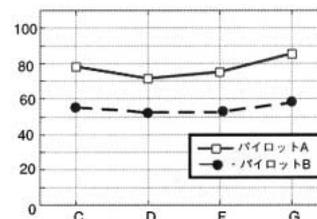


Fig.6 TLX計算結果

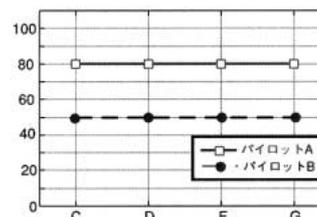


Fig.7 MD評価結果

ゴーストとプレディクタは安全余裕をおびやかす深いバンク角のコマンドを与えるため、パイロットはこれらを操縦のキューとして使うのをやめしてしまうことが過去の実験<sup>6)</sup>より明らかとなっている。すなわち、パイロットはTISディスプレイから3次元位置のみの情報を取得することになり、このことがパイロットのMDに対するワークロードを悪化させている可能性がある。従って、多少風が吹いてもバンク角の余裕を保つために基準バンク角を浅くした経路を設定するか、飛行場における定常風を一定時間計測して、経路を修正することが有効であると考えられる。

一方、パイロットBはMDについて、「ILS進入とは異なった特別な手順を思考する必要はない。どの曲線経路においても同様の手順での操縦が可能である」との所見を述べている。手順の遂行といった観点から言えば、ILS進入と異なった特別な手順を考える必要はないので、この評価結果も妥当であると考えられる。すなわち、曲線進入においてもILS進入と同様に経路の偏差が生じれば修正するという操作方法で良いことを意味している。このようなパイロット間の差については後に考察を述べる。

以上の結果から、MDは経路ごとの差ではなく、主に曲線部のトラッキングタスクや、TISディスプレイから情報を取得する際の認知的タスクに関与していると考えられる。すなわち、少なくともパイロットAのMDを分析することによって、曲線部の経路の設定方法やバンク角コマンド情報の与え方に起因したトラッキング・タスクや認知的タスクの問題点

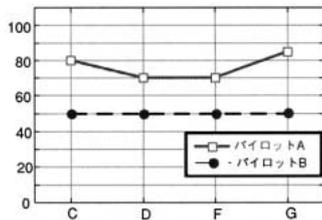


Fig.8 PD評価結果

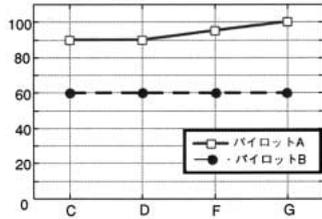


Fig.9 TD評価結果

が抽出できた。

### 5 - 3 Physical Demand (PD) 評価結果

Fig.8にPDの評価結果を示す。パイロットAはどの経路に対してもILS進入に比べてPDが高く、その中で経路D、Fが同等で、C、Gの順に高くなっているのが分かる。

パイロットAからは「どの曲線経路についても操舵が忙しく、特にバンク角に対する操舵の頻度が上がる。サイドスリップに注意していなければならず、ラダーの操作が頻繁に行われた」との所見が得られている。これは前節でも述べたが、トンネルをトラックするために風の強さや方向によってバンク角を逐次変化させる必要があり、結果としてエルロン操舵やラダーの操作の頻度が上がったと考えられる。しかし前節で述べたように、ある程度風を予測して、定常風における定常バンク角が保たれるように経路を修正することができれば、ホイールやラダーの修正操舵を減らすことができると考えられる。

また、経路DおよびFより経路CおよびGのPDが高くなる要因は、曲線部の旋回半径の違いに起因すると考えられる。パイロットAからは、「経路CおよびGは経路DおよびFに比べて微妙な操舵が増える。特にスロットルを使う頻度が増える」との所見が得られている。スロットルを使う頻度が増えるのは、経路CおよびGでの深い基準バンク角の曲線部において、バンク角による機体の沈みを抑えるためである。

さらに経路CとGのPDの違いは、最終直線部の長さに起因すると考えられる。パイロットAからは「バンクの深いところから最終直線部に移るときに

距離が短いために操舵の忙しさが増す」との所見が得られている。

一方、Fig.8から、パイロットBはILS進入と同等の評価結果を与えていることが分かる。パイロットBからは「操舵の頻度やタイミングもILS進入と同等の感覚である」との所見が得られている。このような評価結果は、MDの評価結果と同様にパイロットBは「手順の遂行」といった観点でPDを評価していることによると思われる。

以上の結果から、PDは、操舵の頻度や忙しさが増す飛行区間におけるトラッキング・タスクに関与していると考えられる。すなわち、少なくともパイロットAのPDを分析することによって、曲線部、曲線部の旋回半径の違い、および最終直線部の長さ起因するトラッキング・タスクの問題点が抽出できた。

### 5 - 4 Temporal Demand (TD) 評価結果

Fig.9にTDの評価結果を示す。Fig.9から、両パイロットとも、どの経路に対してもILS進入に比べてTDが高いことが分かる。また、他の評定項目と比較してもTDのワークロードに占める割合は高くなっている。

パイロットAはどの曲線経路に対してもトンネルに入るまでの時間的な圧迫感が高くなるとの所見を述べており、これがパイロットAに対するTDの結果に顕著にあらわれている。今回の実験では曲線経路とTISディスプレイの評価に主眼を置いているため、本来的には評価の対象外のものであるが、パイロットは評価のみではなく全体の飛行を実施するためにこのようなことが影響を与えてしまったと考えられる。

さらに、経路FやGは経路CやDに比べて短い最終直線部で機体の飛行諸元を安定させるのに時間的な圧迫感があるとの所見が得られており、TDが高くなる要因となっている。

一方、TDが高くなる別の要因として、パイロットA、BともTISディスプレイの表示自体を挙げている。パイロットAからは「一度トンネルに入ると距離のクロスチェックが3回しか出来ず、追いかけている感覚が常にある。トンネルから目が離せない」との所見が得られている。これは、常にゴーストを追いかけて操縦するトンネルのトラッキング・タスク自体の難しさおよび他の計器をスキミングする等のセカンダリー・タスクを行う余裕のなさを意味していると考えられる。よって、滑走路からの

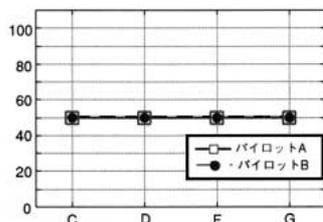


Fig.10 OP評価結果

距離に応じてトンネルの幅を広げることによってトラッキングの要求精度を下げる等の表示パラメータの調整が必要であると考えられる。

また、パイロット Bからは「TISディスプレイは経路のパターンを表示することについては良いが、トンネルが流れていくといった視覚的な圧迫を感じ、これが時間的な圧迫感につながる」といった所見が得られている。これについては、視覚的な圧迫感がパイロットのワークロードに根本的に関与するものなのか、TISディスプレイを使った操縦に慣熟すれば解決する問題なのかを今後検討していく必要がある。

以上の結果から、TDは、最終直線部やTIS表示方法に起因したトラッキング・タスクの問題に関与していると考えられる。すなわち、TDを分析することによって、最終直線部の長さやTISディスプレイの表示パラメータに起因するトラッキング・タスクの問題点が抽出できると考えられる。

#### 5 - 5 Performance (OP) 評価結果

Fig.10にOPの評価結果を示す。Fig.10から、両パイロットとも、どの経路に対してもILS進入と同等の評価結果としている。パイロットからは「ILS進入と同様にどの経路に対しても全く外視界を見ずにタスクを十分に達成できた」との所見が得られている。この結果から、OPは4 - 3の飛行実験手順に示した「パイロットに課したタスク」の達成度に関与しており、トラッキング・タスクや認知的なタスク上の問題点を抽出するというよりは、精密曲線進入の実現性を、ワークロードの観点から確認することに利用できると思われる。

#### 5 - 6 Effort (EF) 評価結果

Fig.11にEFの評価結果を示す。Fig.11から、パイロット A、Bとも経路 GのEFが高く、次いで経路 Cが高いことが分かる。経路 F、Dについてはパイロット Aは経路 Fの方が高いとしたが、パイロット Bは経路 F、DともILS進入と同等であった。

4 - 2でも述べたが、四つの飛行経路として、曲

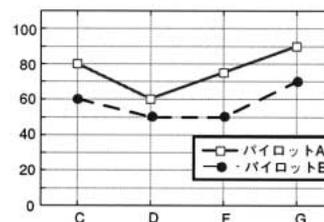


Fig.11 EF評価結果

線部の巡回半径は、経路 C、Gが経路 D、Fよりも小さく、最終直線部の長さは、経路 F、Gが経路 C、Dよりも短いという特徴を持っている。また、曲線部のトンネルに入るまでの直線距離は、経路 F、Gが経路 C、Dより短くなっている。

パイロットからは、EFについて曲線部や直線部等の各飛行区間ごとのトラッキング・タスクに関する所見が得られている。曲線部のトンネルに入るまでの直線距離については、パイロット Aから「経路 FやGは曲線部に入る前に1 [NM] (約30 sec)しかなく、約30 secの間にトンネルをトラックしながら飛行諸元を合わせるのにたいへんな努力が必要である」との所見が得られている。また、曲線部についてはパイロット A、Bとも巡回半径が小さくなることによるバンク角操舵に対する努力に着目しており、類似した所見が得られている。パイロット Aからは、「経路 CやGの曲線部では、少しでも気を許すとトンネルの外側に出てしまうのを懸念して、プレディクタを常にゴースト、すなわち円弧の内側へと操舵することに努力している」との所見が得られており、この結果を裏付ける数値データも既に取り得られている<sup>5)</sup>。さらに最終直線部については、経路 Fは曲線部の巡回半径が大きいことによって諸元の維持の努力が軽減するが、経路 Gについては短時間で高度、速度、経路角などの飛行諸元の維持に努力を要することが両パイロットの所見から明らかとなっている。

以上の所見を分析すると、Fig.11の評価結果は概ね、経路 Cについては曲線部の巡回半径が小さいこと、経路 Fについてはトンネルに入るまでの直線距離、および最終直線部が短いこと、経路 Gについてはトンネルに入るまでの直線距離、最終直線部の長さ、および曲線部の巡回半径が小さいことといった経路の設定法が起因していると考えられる。

曲線部に入る前の最初の直線部の長さに関する問題は過去の研究からは抽出されていなかったが、パイロット Aの評価ではEFに影響を及ぼすという結

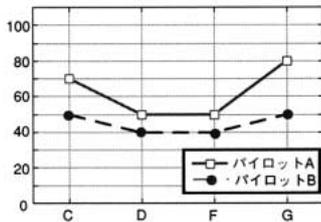


Fig.12 FR評価結果

果になった。本研究では、将来的に複数の曲線部をつないだ複雑な経路を設定することを考えている。よって今後、曲線と曲線を繋ぐような直線部の長さも同様にワークロードに影響を及ぼすのか、あるいは曲線部と同等の扱いとするのかを、検討していく必要がある。

また、旋回半径を小さくする経路は騒音を避けた飛行経路に対しては望ましいが、パイロットのEFは明らかに増加する。このような経路を設定する場合には、長い最終直線部と組み合わせるなどして、飛行諸元を安定させるための努力を軽減する工夫が考えられる。

さらに最終直線部では、長さが短くても、その手前の曲線部の旋回半径が大きければEFは軽減できるという結果であった。パイロットBからはILS進入と同等のEFの評価結果が得られている。このことから、最終直線部を短く設定する場合には、その手前までの飛行区間における飛行諸元の維持を容易にするなどしてワークロードを適正に保っておく方が望ましいと考えられる。

以上の評価結果から、EFは経路の設定方法に起因したトラッキング・タスクに関与しており、EFを分析することによって大まかな経路の設定方法について指針が得られると考えられる。

#### 5 - 7 Frustration Level (FR) 評価結果

Fig.12にFRの評価結果を示す。Fig.12から、パイロットA、Bとも経路C、GのFRが高く、経路D、FについてはILS進入と同等以下のワークロードであることが分かる。

パイロットAは、経路C、Gについては、曲線部の旋回半径が小さくなったことによる操舵の忙しさ、および直線から曲線部に操舵する際の操舵のタイミングの緊張や集中的な努力をストレスが溜まる要因としている。さらに、経路Gになると最終直線部が短くなったことによって飛行諸元を維持するための時間的な余裕がなくなったことをストレスの要因としている。

一方、パイロットBは、曲線進入によって着陸できたかどうかでFRを評価している。パイロットBはどの経路に対しても着陸の失敗はなかったため、評点は50点以下となっている。その中で経路DやFについては、「トンネルにさえ入ってさえいれば、このまま着陸できるといった安心感がある」との所見が得られており、将来的な経路をトンネルを用いて表示することの有効性が再度確認できたと考えられる。

以上の評価結果から、この項目はMD、PD、TD、EFなどの他の項目と相関があり、FRの評価結果はその他の評価項目で導出された総合的な結果であると考えられる。

#### 5 - 8 評価方法の妥当性

パイロットA、Bに対するTLX値を比較してみると、TLX値の数値自体に違いはあるものの、全体的な傾向は類似しており、評価は概ね妥当であったと考えられる。本手法は主観評価であるので評価値に差が出るのは当然の結果であるが、評価尺度ごとの結果については評価の傾向自体がパイロットA、Bとで差が生じているものもある。以下にこれらの理由について簡単に考察し、今後のワークロード評価方法の改良について言及する。

MDについて見てみると、パイロットAがどの曲線経路に対してもILS進入方式よりワークロードが高いとしている一方、パイロットBはILS進入と同等のワークロードであるといった評価結果を出している。これは前述したように、パイロットAはタスクを達成するための「飛行諸元の維持」に着目して評価しているのに対して、パイロットBは「手順の遂行」といった視点で行っており、MDに対する視点がパイロットAとBで異なっているのが分かる。この傾向はPDなどの他の項目においてもあらわれている。

TDについては二つの視点での評価がなされている。一つは経路の設定による時間的な圧迫感に着目しているのに対し、もう一つはTISディスプレイの視覚的な圧迫感が時間的な圧迫感につながるとしている。

また、EFやFRについてはパイロットA、Bの評価の傾向は概ね等価であり、これらの項目によって曲線経路の設定上の問題は抽出できたと考えられる。しかし、これらの項目では操縦性やTIS表示の問題点の細部までは抽出できなかった。

本手法は主観評価であるので、各項目ごとの主観

や着目する視点が違うのは当然であるという見方もできると考えられるが、なるべく妥当な結果を得るためには各項目事でパイロット間のばらつきを少なくする必要がある。今回の評価は、試行回数も少なく、被験者も二人なので有為な結果が得られたとは言いがたいが、今後、パイロットの認知的および操縦におけるタスクを分析して、パイロットへのインタビュの仕方も含めて評価尺度の定義について改善していく必要がある。

## 6. まとめ

本研究では、TISディスプレイを用いて曲線進入を行うパイロットの認知的およびトラッキング・タスクの問題点を抽出する評価手法を確立することを目的に、NASA-TLX手法を本評価用に改修した手法を用いてパイロットのワークロードの評価・分析を行った。

すなわち本研究では、現存のNASA-TLX手法の評定尺度の定義を本実験におけるタスクや、パイロット間のばらつきを考慮して修正し、評価基準を設けた。また、トラッキングや認知的タスクに対する分析を行うために、本評価用に修正した評定尺度ごとにパイロット・コメントを取得した。

本評価および分析の結果、各評価項目に対するパイロット間の差違がみられたものの、ワークロードの要素とTISディスプレイの表示および経路上の問題点を関連付けられ、認知的タスクやトラッキングタスクの問題点を抽出することができたと考えられる。また、本研究の結果から、今後、ワークロード評価手法を確立していくための改良点について指針を得ることができたと考えられる。

今後は、本評価方法を改善するとともに、TISディスプレイの改良、経路の設定、各種航空機に対応したディスプレイの設計手法およびパイロット訓練手法を検討していく予定である。

## 参考文献

- 1) L. J. J. Erkelens: Research on Noise Abatement Procedures, 10th European Aerospace Conference "Free Flight", 1997
- 2) M. Harigae, et al.: Flight Evaluation of Carrier DGPS / INS Hybrid Navigation for Automatic Landing, 第36回飛行機シンポジウム講演集、1998年
- 3) 船引、村岡「曲線進入のためのトンネル型表示」平成10年度日本航空宇宙学会年会講演会
- 4) 小野他「Do-228による精密着陸実験(その2) - 都市型空港への曲線進入の試み」『第36回飛行機シンポジウム講演集』1998年
- 5) 船引、村岡他「曲線進入用トンネル表示の飛行実験評価」『第36回飛行機シンポジウム講演集』1998年
- 6) K. Funabiki, et al.: In-Flight Evaluation of Tunnel-in the Sky Display and Curved Approach Pattern, AIAA-99-3966, 1999
- 7) A. J. Grunwald: Tunnel Display for Four-Dimensional Fixed-Wing Aircraft Approaches, Journal of Guidance and Control, 7(3), 369 - 377
- 8) G. E. Cooper and R. P. Harper: The Use of Pilot Rating in the Evaluation of Aircraft Handling Qualities, NASA TN D-5153, 1969
- 9) S. G. Hart and L. E. Staveland: Development of NASA - TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: P. A. Hancock and N. Meshkati (eds.): Human Mental Workload, 139 ~ 183, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1988
- 10) 三宅、神代「メンタルワークロードの主観的評価法 - NASA-TLXとSWATの紹介および簡便法の提案 - 」『人間工学』Vol 29, No. 6, 1993年
- 11) M. Mulder: Cybernetics of Tunnel-in-the-Sky Displays, Delft University Press, 1999
- 12) T. E. Nygren: Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: Implications for their use in the assessment of perceived mental workload, Human Factors, 33(1), 17 ~ 33, 1991