

誘導路中心線灯の点滅制御誘導方式の 有効性と走行効率向上効果

豊福 芳典* 青木 義郎*

Effectiveness and Improvement of Taxiing Efficiency of The Guidance Method by Selective Switching of Taxiway Centerline Lights

by

Yoshinori TOYOFUKU , Yoshiroh AOKI

Abstract

We carried out a study involving the so-called “Follow Green” system. This is a technique that is used for the surface guidance of aircraft by lighting the taxiway centerline lights (TCLL) only on the designated route. In order to carry out our study we reconstructed a Follow Green scenario on a flight-training simulator. The purpose of the experiment was to verify its effectiveness and collect the basic inputs necessary for the construction of a system, such as the optimum number of lights to be illuminated.

The experimental results show that the system could be highly effective in easing the task of taxiing and could improve safety as well. Additionally, it could be expected to further improve the overall efficiency of aircraft taxiing.

原稿受付：平成15年8月4日

* 交通システム研究領域

1. はじめに

現状の空港では、誘導路中心線灯(以下、「TCLL」という)は昼間において全灯消灯され、夜間や低視程時には全部が一括点灯されている。

しかし、A-SMGCSでは、地上走行中の個別の航空機に対して、その誘導ルート上のTCLLだけを、航空機の動きに合わせて一定の距離だけ先行点灯させ、他のTCLLを消灯することにより誘導する方式(いわゆるFollow Greenシステム。以下、「FG」という)が考えられている。航空機はTCLLのgreen点灯灯火の移動に追従していくことにより目的地へ到達することができる。

FGの有効性の検証及び灯火の最適な点灯制御数など、具体的なシステム設計のための基礎資料を得ることを目的として、パイロットの操縦訓練のためのフライトシミュレータを用い、点灯区間長を変え試験を行った。

操縦のしやすさなどに関するパイロットの意見を収集するとともに、並行して走行速度等の航空機データを測定、記録した。

2. 試験条件

シミュレーション条件はTable 1のとおりである。

走行パターンとしては、走行速度などの基礎的な走行データに対するFGの影響を見るために、比較的単純な次の3種類とした(Fig. 1)。第1に平行誘導路における直線走行(約1,600m)、第2に交差点において、交差点手前で一旦停止し、当該交差点を横断する相手機をやり過ごした後再スタートする交

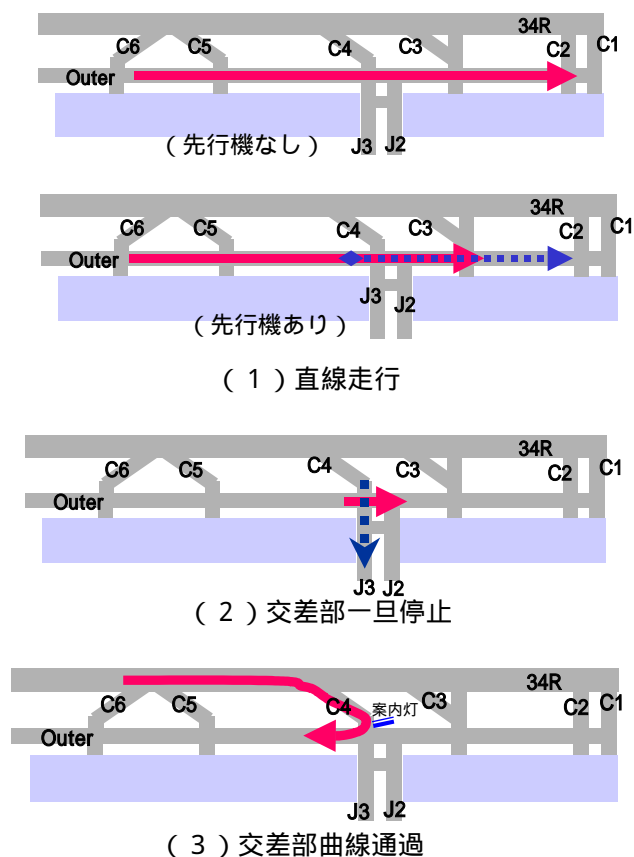


Fig. 1 走行パターン

差部一旦停止走行、第3に高速離脱誘導路で滑走路から離脱した後、一旦停止することなく交差点を右折通過する交差点曲線通過走行である。但し、直線走行については、単機で走行する場合と前方に停止先行機があり、これに追いつき停止し、さらに先行機の再スタートに続いて再スタートする場合の2種類を含む。

Table 1 シミュレーション条件

項目	内容
シミュレーション空港	東京国際空港の一部区域
シミュレータタイプ	B747-400
走行パターン	直線走行 / 交差点一旦停止 / 交差点曲線通過 (Fig. 1)
TCLL 点灯条件	現状再現(注1) / Follow Green(200m/300m/400m)
視程条件	昼・良視程 / 夜・良視程 / 夜・低視程 (注2)
被験者パイロット	現役の B747-400 パイロット、10名

注1)「現状再現」とは、空港における現状の灯火運用と同様に、昼間は空港内の全灯火を消灯、夜間は全灯火を一括点灯とすることを意味する。

注2)「良視程」とは視程 5,000m、「低視程」とは視程 200m である。

先行点灯距離（機首から点灯灯火列の先端までの距離）は、単機直線走行で、200m、300m、400mの3種類とし、それらの結果を比較検討した。これ以外は400m（但し、夜・低視程時は200m）の1種類とした。

3．結果及び考察

3．1．Follow Green の有効性

直線走行において、「TCLLを自機の前方の一定距離だけ先行点灯させて誘導するのは、現状と比べて操縦しやすいか」との質問に対する回答をFig. 2に示す。

システムの信頼性を前提として、大多数が「操縦しやすい」と評価し、特に夜・良視程（以下、単に「夜」という）にその割合が高い。昼・良視程（以下、単に「昼」という）の「変わらない」は周囲がよく見えるためであり、夜・低視程の「変わらない」は先行点灯距離が200mであるためと思われる。

また、「より複雑な誘導路網の設定であれば、FGの効果もより顕著に実感できたであろう」との被験

者パイロットの感想もあった。

3．2．FGの先行点灯距離

先行点灯距離を200m、300m、400mの3種類行ったが、Fig. 3は、FG200m及びFG300mの場合のシミュレータコクピット前面のビジュアルシーンの例である。

現状再現及びそれぞれの先行点灯距離における平均走行速度をFig. 4に示す。

昼、夜については、FGの先行点灯距離が長くなるに従って平均走行速度が増大しており、FG400mでは現状よりほぼ2 kt 増しである。「FGが長い程スピードを出せる」とのパイロットコメントもあった。パイロットのFGシステムへの信頼性が根付き、またこのシステムに慣れてくれば、FGによる速度増加はより大きくなると推測される。一方、FG200mの場合は、Fig. 4から昼、夜ともに現状より速度が低下しており、パイロットの感想としても「制限されるよう」、「邪魔になる」などのコメントが寄せられた。FG200mは速度抑制効果を持つといえる。

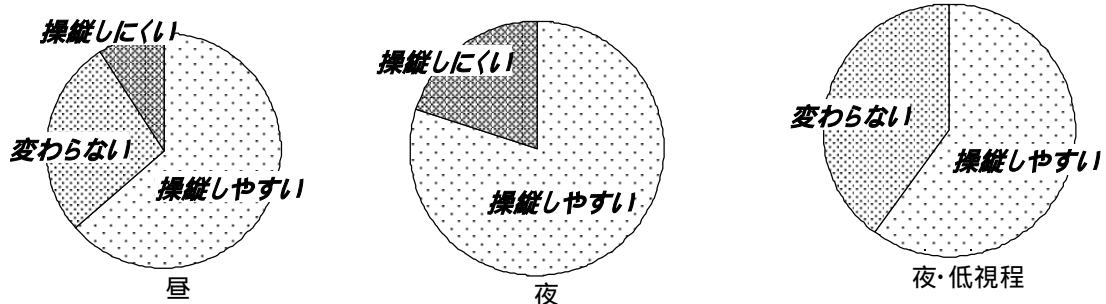


Fig.2 FGの有効性



(1)fg200m



(2)fg300m

Fig.3 フライトシミュレータのビジュアルシーン
(直線走行)

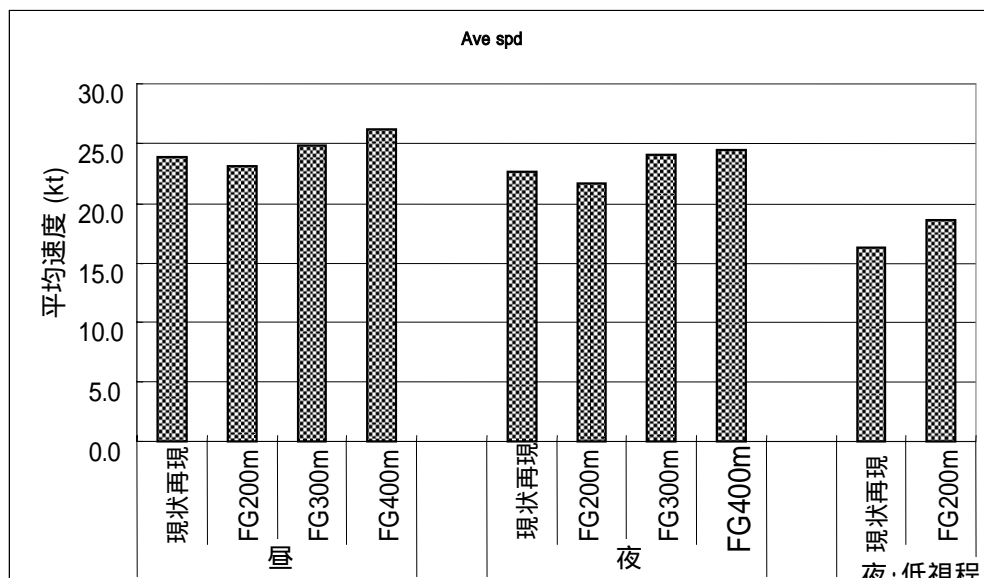


Fig. 4 先行点灯距離と平均走行速度

また、夜・低視程については、今回のシミュレーションは先行点灯距離200mで実施したものであるが、それでもFig. 4に示す約2ktの速度上昇が認められた。低視程に対応したTCLLの高光度化を図れば、効果はより大きくなると考えられる。

次に、パイロットの感想として「TCLLの先行点灯距離は[200m以下/200m/300m/400m/400m以上]のうちどれが適切だと思いますか」と問うたアンケートの結果(Fig. 5)では、300mと400mの推奨が多い。

「400mは全部点灯しているのと同じ感覚で、移動点灯の効果を感じない。300mならFG点灯の動いている効果あり。」や「点灯灯火列の移動が目立つようだとその先端に気をとられるので、周囲の見張りがおろそかになる可能性あり」などのコメントからも分かるように、パイロットによって先行点灯300m又は400mの好みには個人差があるが、それらの割合はほぼ同程度であった。

以上より、FGの先行点灯距離は200mでは短すぎる事が明らかである。パイロットの感想からは300m

~400mが適していると考えられる。加えて、走行効率向上効果は300mより400mの方がやや勝ることから、400m程度が最適であろう。

3.3 先行機直後のTCLL消灯の効果

FG直線走行で前方に先行機が停止している場合には、追突防止のため先行機直後のTCLL 2灯を消灯し、FG点灯はその手前までとした。この先行機直後のTCLL消灯の有効性と適切な消灯個数についてアンケートを実施した。

結果はFig. 6であり、大部分が有効としているが、夜間や低視程の方が有効とする割合がより高い。昼間は先行機機体が良く見えるため、灯火の有効性の意見が少なかったと考えられる。

適切な消灯個数は、昼間では2灯と2灯以上がほぼ同程度であるが、夜間及び夜・低視程では2灯以上を望む声が多い。

一方、停止先行機に接近停止する場合の先行機との間隔を目測するための着眼点をFig. 7に示す。こ

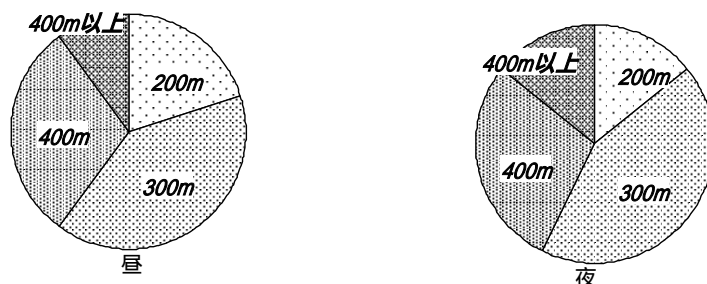


Fig. 5 適切と思う先行点灯距離

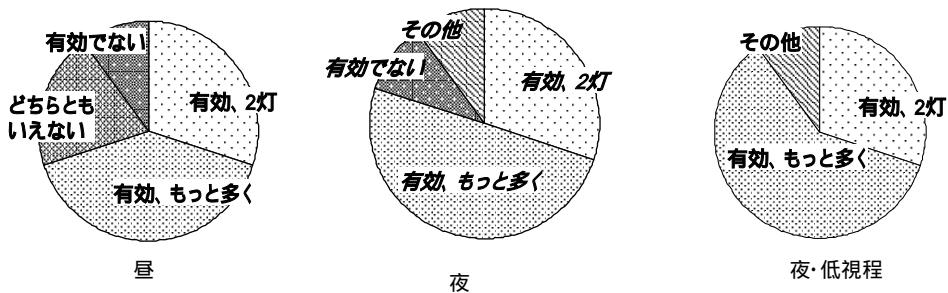
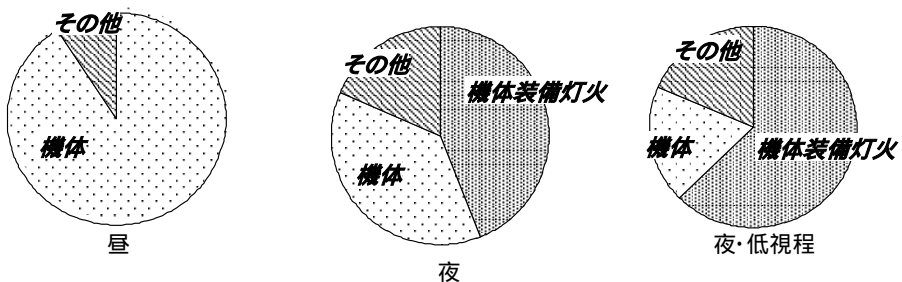
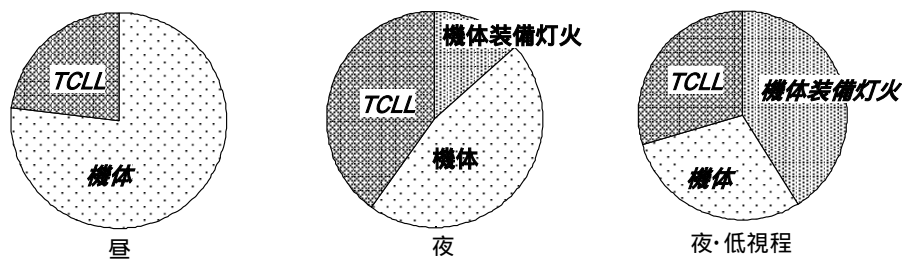


Fig.6 先行機直後のTCC消灯の有効性と適切な消灯個数



(1) 現状再現



(2) follow green

Fig.7 自機・先行機間隔目測の着眼点

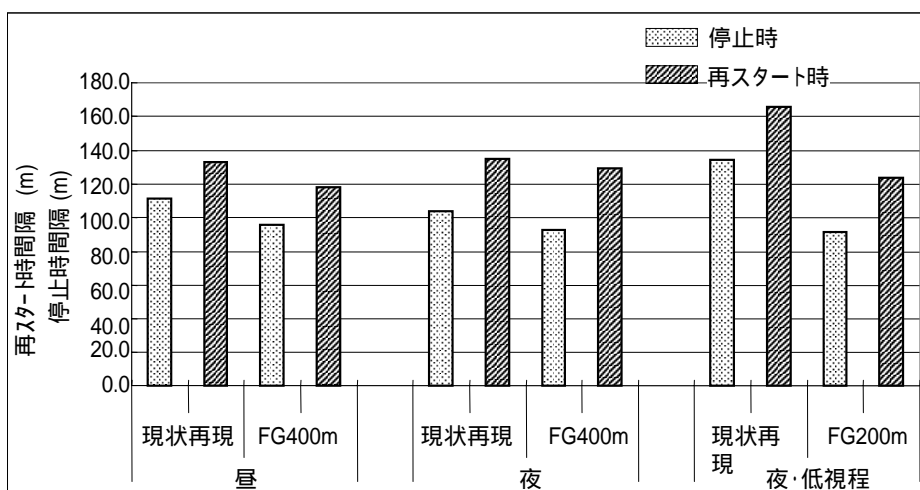


Fig.8 自機・先行機間隔

のアンケートに対してはほとんどのパイロットが複数回答であり、1カ所だけを見ているのでないこと

が分かる。昼間は機体に依存する割合が高いが、夜間及び低視程時には機体装備灯火やTCC情報が

を含めて多面的に判断している。したがって、先行機直後のTCLL消灯は安全性の確保に必要不可欠とまではいえないが、停止先行機・後続機の停止時の間隔を短縮する効果も見られる（Fig. 8）ので先行機直後消灯を実施することが望ましい。

3.4. GOサインからの動き出し遅れ

Fig. 9は交差点一旦停止シミュレーションのビジュアルシーンの例である。



Fig.9 シミュレータビジュアルシーン
(交差点一旦停止、現状再現)

SBLとTCLLによって交差点交通を制御することの有効性については、昼間では7割のパイロットが、夜間では圧倒的多数のパイロットが安全性向上に役立つと回答した（Fig. 10）。

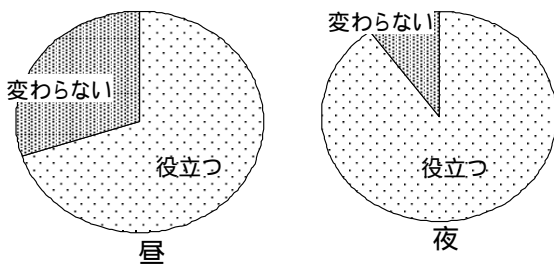


Fig.10 交差点におけるSBL制御の有効性

交差点内への進行を許可するSBL赤消灯・TCLL緑点灯(以下、「GOサイン」という)の発出タイミングは、今回シミュレーションでは交差機後端が交差点中心から45mの地点を通過した時とした(Fig. 11参照)。これは、自機が誘導路の端に寄っていても交差機と

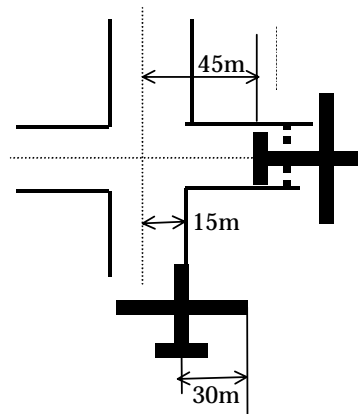


Fig.11 GOサイン発出タイミング

幾何学的に接触しない位置関係として定めたものである。このタイミングに対するパイロットの感想は、Fig. 12に示すように、夜間では圧倒的多数が、昼間でも6割以上が「丁度良い」としている。

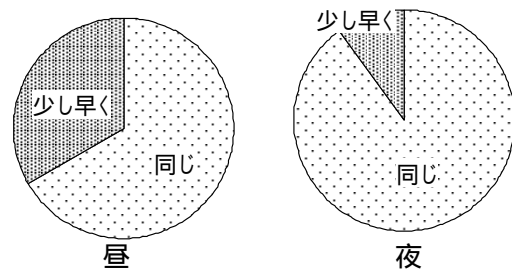


Fig.12 GOサイン発出タイミングに関するパイロット意見

GOサインからの動き出し遅れ時間の測定データをFig. 13に示す。現状再現については、交差点にSBLは設置されていないが、交差機がやはり上述の位置を通過してからの自機動き出し遅れ時間を計測した。

Fig. 13から現状再現ではほとんど遅れがないのに対し、FGでは4秒程度の遅れがある。現状再現では、SBL等による誘導を行っていないが、パイロットはかなり正確に目測していることが分かる。FGでの動き出し遅れは、パイロットはGOサインを確認してからParkingブレーキ解除やエンジンパワー増大操作を行うためと考えられる。交差点にSBLを導入する場合の走行効率を低下させる要因である。

なお、この効率低下を少しでも防ぐため、「視程条件等によってGOサイン発出タイミングを調整する(例

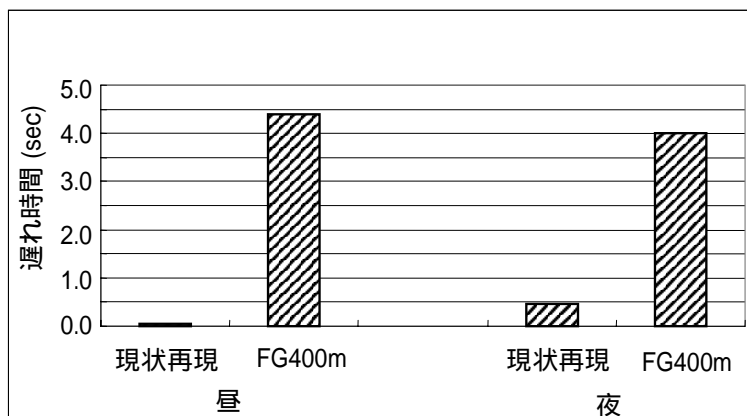


Fig. 13 GOサインからの動き出し遅れ

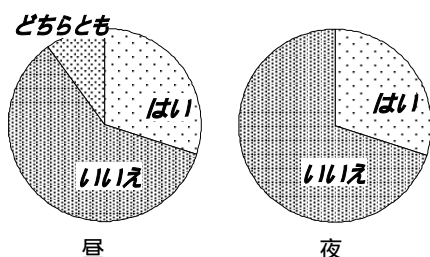


Fig. 14 GOサイン発出タイミング調整に関するパイロット意見

例えば、視程のよい昼間は見込みで早めに出す) のがよいと思うか」とパイロットの意見を聞いた。Fig. 14 にみられるように、多数が否定的である。

タイミング調整に肯定的なパイロットコメントの代表は「少し早めにGOサインを出せば、出るかどうかは相手を見て自分で決める。その方がスムーズ。今回シミュレーションのタイミングだとParking Brakeをかけたまま待った場合にワンテンポ遅れる。」と交通の円滑さに重点をおき、一方否定的な意見の代表は「条件が変わると混乱し危ないのでは。」や「相手機がどの位置になったら(SBLが)消えるか決まっていた方がよい。」と安全性に重点を置く考え方である。

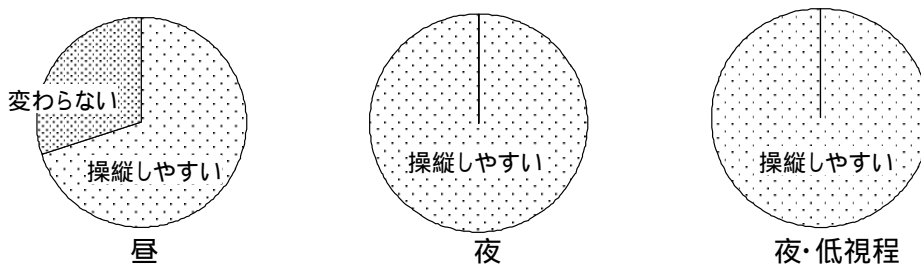


Fig. 15 FGの有効性 (Hi-tax 交差点曲線通過)

3.5. 交差点曲線通過におけるFGの有効性

交差点曲線通過におけるFGの有効性を質問した結果はFig. 15 である。夜間、及び夜・低視程においては全員が、昼間においても7割が「操縦しやすい」としている。

また、交差点の曲線通過所要時間をFig. 16 に示す。昼間では効果が出ていないが、夜間では3秒程度、夜・低視程時で1秒以上、FG走行による短縮効果が表れている。

夜間には周囲が暗く余分な誘導路が見えない中で、進行方向の灯火のみが点灯して進行ルートを明瞭に示したために円滑な走行が可能となり、昼間並への速度上昇が認められたものと考えられる。昼間においては、他の誘導路情報も目に入ること、誘導経路情報としての灯火点灯情報が曲線であることから、十分な情報としての認識を与えられなかったことから効果が生じなかったと思われる。

またアンケートの中には、交差点においては単に進行方向をgreenで示すだけでなく、進行方向以外の誘導路にはSBLの赤色灯列で進入禁止を明示すれば、非常にわかりやすくより走行しやすくなるとの、外国事例に基づいたコメントもあった。

以上のことから、十分な光度の灯火を提供するこ

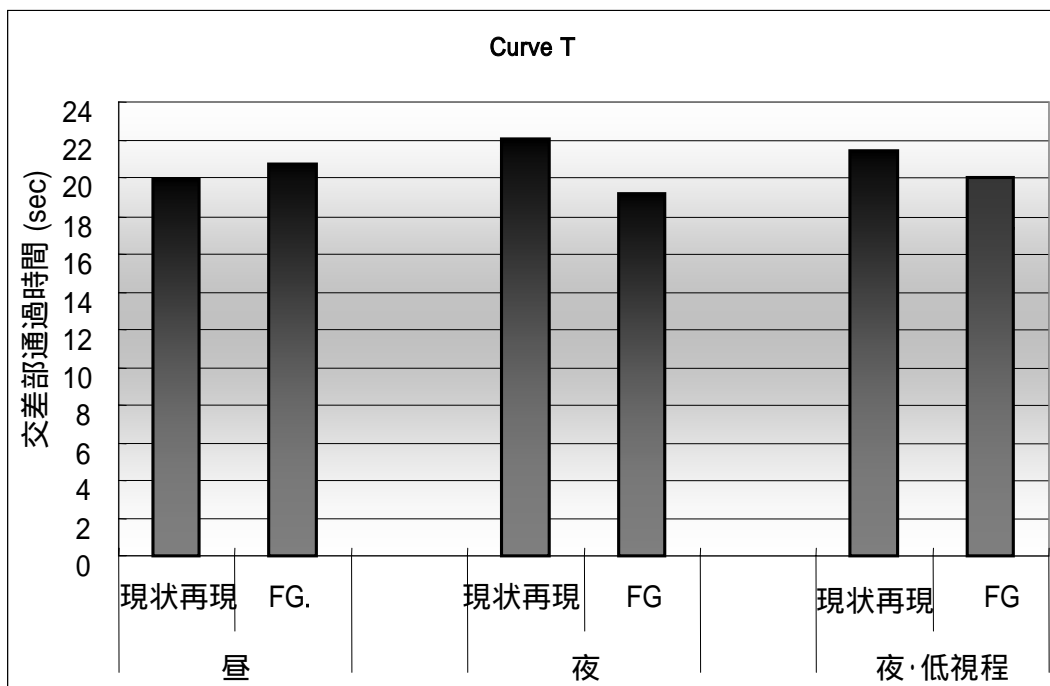


Fig.16 交差部曲線通過所要時間

とにより、夜間はもとより昼間においても、より円滑で効率的な走行が可能になると思われる。

4. まとめ

Follow Greenシステムの操縦のしやすさや安全性向上の面での有効性並びに走行効率向上効果が確認された。また、適切な先行点灯距離など、FGシステムの設計にあたっての有用な基礎資料が得られた。

FGで誘導することにより、直線部で2kt程度の走行速度上昇が期待される。これは、東京国際空港のターミナル西地区の北寄りのスポット(No.107)と34R滑走路離陸地点間の代表的なルート(延べ距離約4,000m)を対象とした単純試算で、昼間では最大約30秒(走行時間の約6%)の、夜間では最大約60秒(走行時間の約11%)の走行時間短縮に相当する。

今回のシミュレーション調査は、FGが速度等の走行パラメータに与える影響を把握することを主な狙いの一つとしたので、走行パターンは単純で基礎的なものとしたにも拘わらず十分な効果が得られた。パイロットがルート選択に迷うような複雑な誘導路網の中を誘導していく場合は、操縦のしやすさという意味での有効性はより際だったものになることは間違いのないと思われる。

なお、昼間のTCLLの見え方は実際より明るくして、あえて見えやすくした。パイロット意見にもあるように、「FGは特に夜間、低視程時に有効」であるだけでなく、「昼間でもTCLLが視認できるなら有効」であることが明らかとなった。また、低視程時においても同様のことが考えられる。すなわち、誘導のための先行点灯は一定以上の距離が必要(良視程時には400m程度が適当との結果が得られた)であり、低視程時のTCLLの高光度化を図り400m程度の距離まで見れば有効性は一層高まり、良視程時の走行効率に近づけることができると期待される。