

# 誘導路中心線灯による点滅制御誘導方式の有効性

交通システム研究領域

豊福 芳典

青木 義郎

塚田 由紀

## 1. はじめに

現状の空港では、航空機の地上走行はパイロット自身の判断による他、主に管制官の音声交信による誘導で行われている。この際、誘導路中心線灯（以下、「TCLL」という）は昼間は全灯消灯され、夜間や低視程時には全部が一括点灯されている。

これに対し、先進型地上走行誘導管制システム（A-SMGCS）では、それぞれ個別の航空機に対する誘導ルートを描画し、そのルート上の前方TCLLだけを先行点灯させ、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。すなわち、不慣れで複雑な誘導路網の空港であっても、パイロットはTCLLのgreen灯火列の移動に追従していくことにより目的地点へ到達することができる。

このFGにつき、安全性の向上や空港運用効率向上に関する有効性の検証並びに灯火の点灯制御をどのように行えば最も効果的かなどの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、フライトシミュレータによる試験評価を行った。フライトシミュレータは、航空会社所有の操縦訓練用のものであり、同シミュレータ上にFG条件を再現して、走行速度等の航空機データを測定・記録するとともに、パイロット意見をアンケート方式で収集した。

## 2. 試験条件

シミュレーション条件を表1に示す。

走行パターンは図1に示す3種類とした。第1に平行誘導路における直線走行（約1,600m）第2に交差

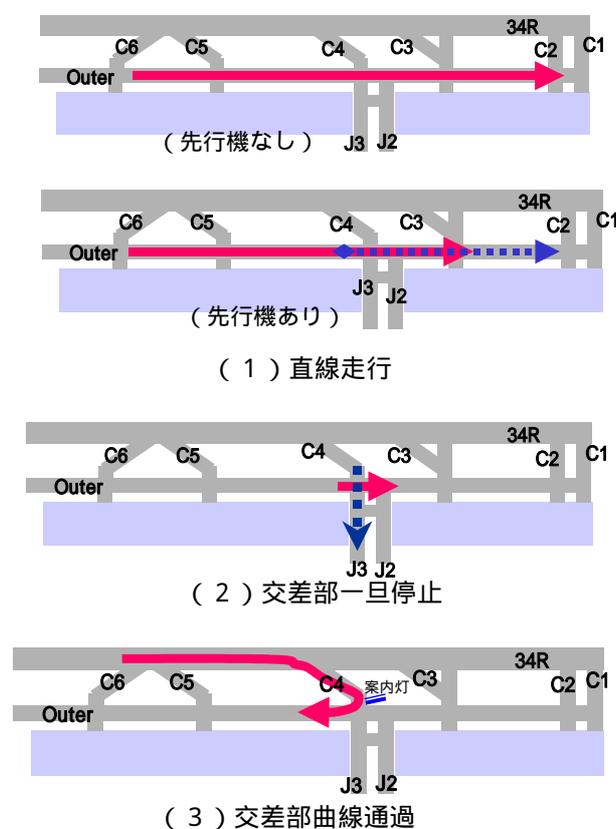


図1 走行パターン

表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 / 交差部一旦停止 / 交差部曲線通過 (図1)
TCLL点灯条件	現状再現 / Follow Green(200m/300m/400m)
視程条件	昼・良視程 / 夜・良視程 / 夜・低視程 (注)
被験者パイロット	現役の B747-400 パイロット、10名

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

部において、交差部手前で一旦停止し、当該交差部を横断する相手機をやり過ごした後、再スタートする交差部一旦停止走行、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部を右折通過する交差部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。

TCLL点灯条件については、FGの状態を模擬した場合及び現状との比較のために現状を再現した場合の2種類を行った。

FGシミュレーションでは、誘導ルートTCLLのみを航空機の動きに合わせて一定距離だけ先行点灯させ、現状再現シミュレーションは、昼間は全灯火一括消灯、夜間及び低視程時は全灯火一括点灯である。

先行点灯距離(機首から点灯灯火列の先端までの距離)は、最適な点灯距離を明らかにするため、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. FG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走行ルートを誘導するのは、現状と比べて操縦しやすいか」との質問に対する回答を図2に示す。

システムの信頼性や昼間のTCLLの視認性を前提として、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。

#### 3.2. FGの走行効率向上効果

現状再現及びそれぞれの先行点灯距離のFGにおける単機直線走行の平均速度を図3に示す。

昼、夜については、green灯列で誘導することにより走行速度に影響を与えること、先行点灯距離により

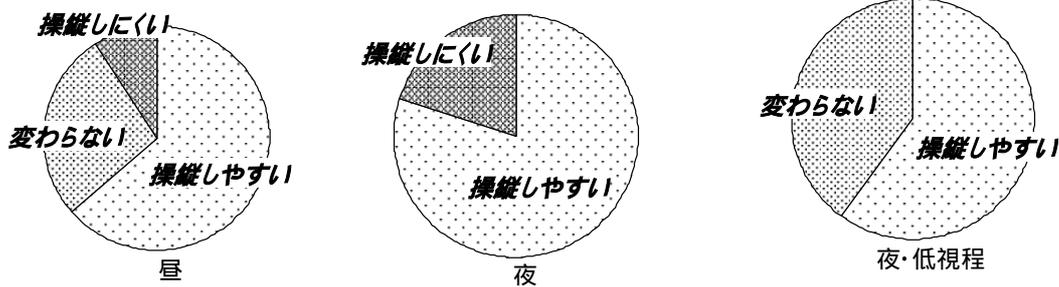


図2 FGの有効性

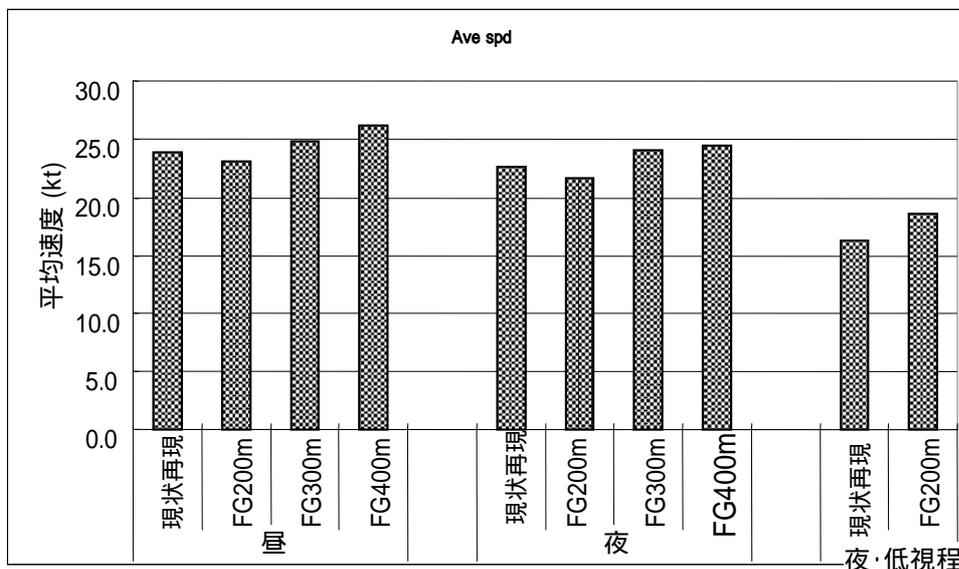


図3 先行点灯距離と平均走行速度

その影響度合いが異なり、300m以上であれば走行速度が上昇することが分かる。FG400mでは現状よりほぼ2 kt 増しである。また、昼間と夜間の比較においても、通常、夜間の速度は昼間よりやや低いが、FGにより夜間でも昼間・現状並の速度に上昇することが期待される。

これらは、羽田空港の代表的な走行ルート（約4,000m）における単純試算では、昼間で最大約30秒、夜間で最大約60秒の走行時間短縮効果に相当する。

パイロット感想でも、「FGが長い程スピードを出せる」とのコメントがあった。パイロットのFGシステムへの信頼感が根付き、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、図3から昼、夜共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」等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。

次に、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、それでも図3に示す約2 kt の速度上昇が認められた。低視程に対応したTCLLの高光度化を図り、その灯列がより遠方まで見えるようにすれば、効果は一層大きくなると考えられる。

### 3.3. 最適な先行点灯距離

「TCLLの先行点灯距離は[200m以下/200m/300m/400m/400m以上]のうちどれが適切と思いますか」と問うたアンケートの結果(図4)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、逆に「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」

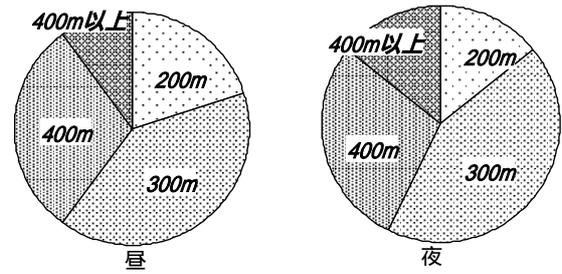


図4 適切と思う先行点灯距離

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。

前項で見た結果も合わせ、FGの適切な先行点灯距離としては、200mでは短すぎることが明らかである。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。

### 3.4. 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。

結果は図5であり、大部分が有効としているが、夜間や低視程の方がその割合がより高い。

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図6に示す。こ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

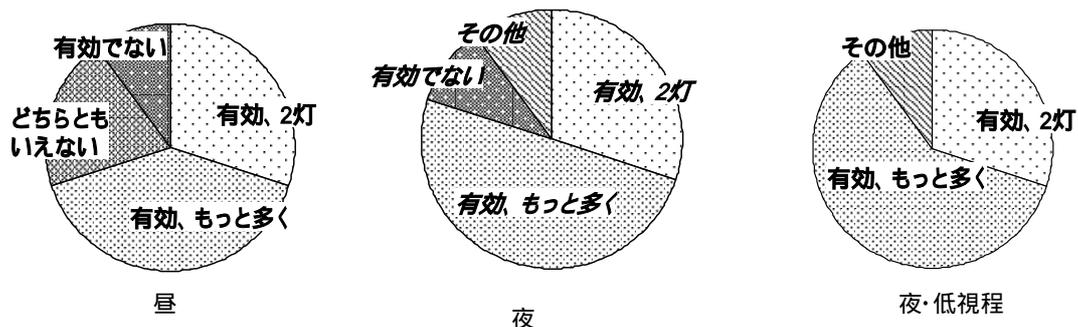


図5 先行機直後のTCLL消灯の有効性と適切な消灯個数

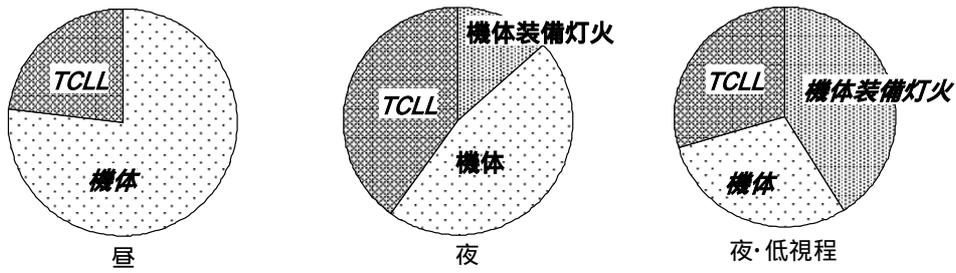


図6 自機・先行機間隔目測の着眼点 (FG)

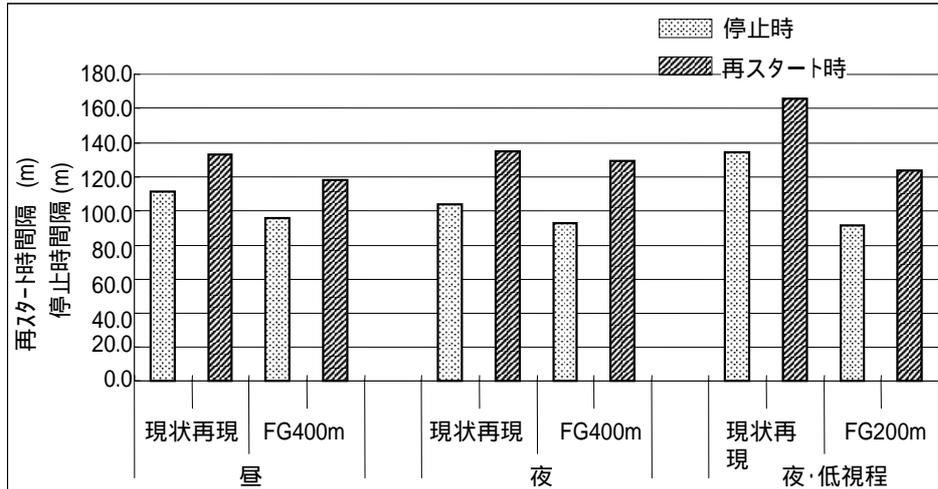


図7 自機・先行機間隔

視程時においては機体装備灯火やTCLL情報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(図7)ので先行機直後消灯を実施することが望ましい。

### 3.5. 交差点一旦停止におけるFGの効果と適切な灯火制御タイミング

停止線灯(以下、「SBL」という)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(図8)。

交差点内への進行を許可するSBL赤消灯・TCLL緑

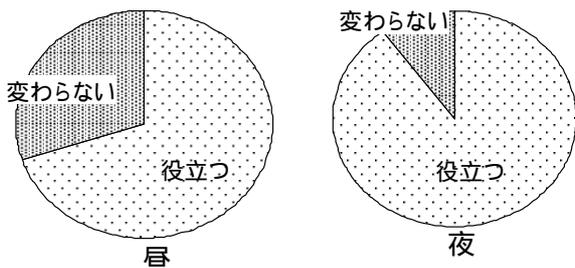


図8 交差点におけるFGの有効性

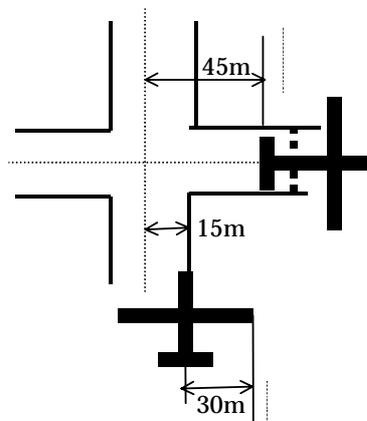


図9 GOサイン発出タイミング

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図9に示すように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。これは、自機が誘導路の端に寄っていても交差機と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。

GOサインからの動き出し遅れ時間の測定データを図10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。

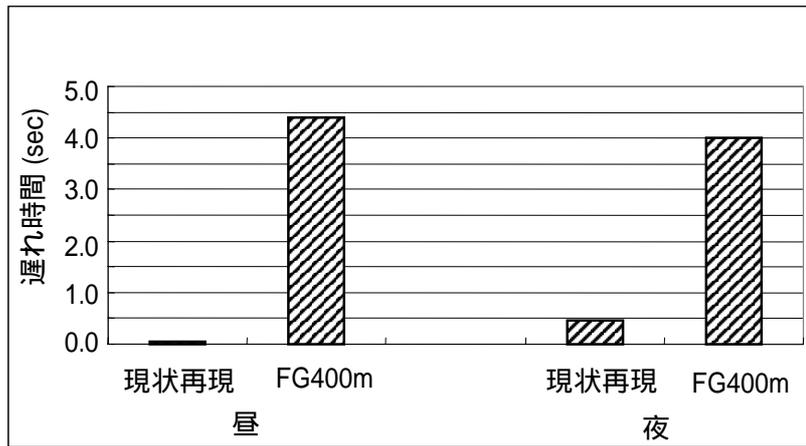


図10 GOサインからの動き出し遅れ

図10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等を行うためと考えられる。交差部に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、GOサイン発出のタイミングについて、「適切なタイミングとしては、今回シミュレーションと比べてどうするのがよいと思うか」との問いに対するパイロットの回答は、図11に示すように、特に夜間は圧倒的多数が今回のタイミングと「同じ」がよいとしている。昼間は、相手機がよく見えるためか「もう少し早く」という声やや増えるが、やはり6割以上が「同じ」がよいとしている。

また、前述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(例えば、相手機がよく見える視程のよい昼間は見込みで早めに出すなど)のがよいと思うか」とパイロットの意見を聞いた。図12にみられるように、多数が否定的である。

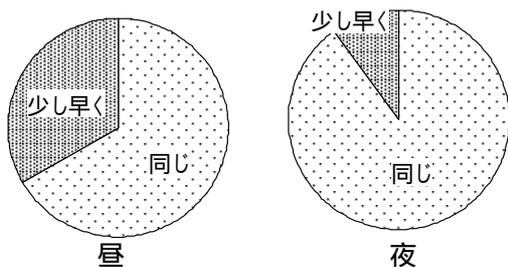


図11 GOサイン発出タイミングに関するパイロット意見

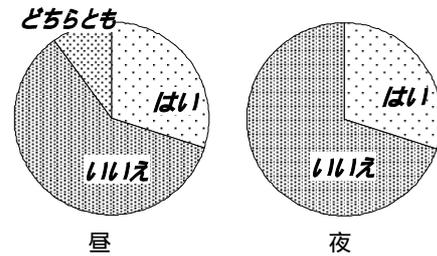


図12 GOサイン発出タイミング調整に関するパイロット意見

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。

### 3.6. 交差部曲線通過におけるFGの有効性

交差部曲線通過におけるFGの有効性を質問した結果は図13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、交差部の曲線通過所要時間を図14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

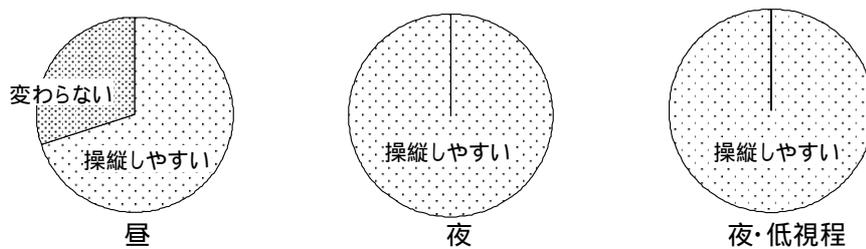


図13 交差部曲線通過におけるFGの有効性

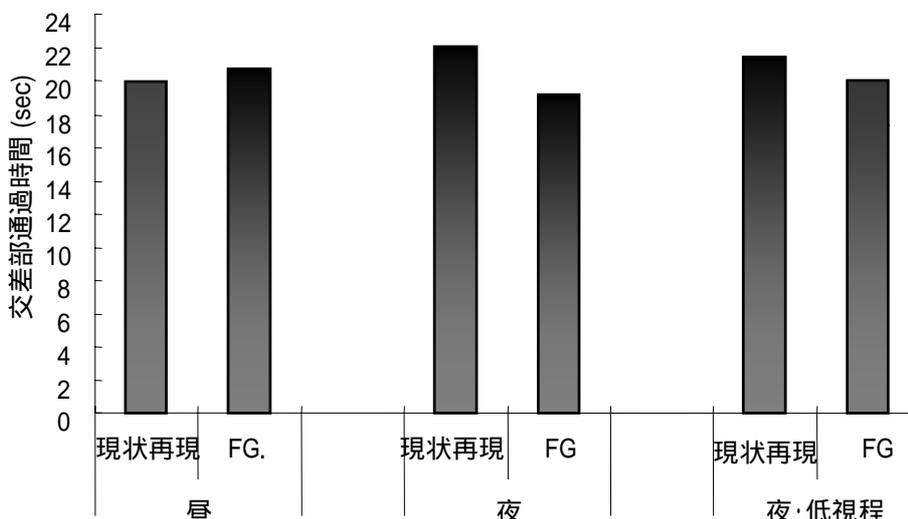


図14 交差部曲線通過所要時間

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、交差部においては単に進捗方向を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。

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。同様に、低視程時においても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。