

# 可変メッセージ型誘導案内灯の薄暮時等における適正輝度

交通システム研究領域

豊福 芳典 塚田 由紀

## 1. はじめに

### 1.1. 背景

航空輸送需要の増大に対応して、空港内における航空機の安全で円滑な走行を増進させるとともに、運航効率の向上を目指す先進型地上走行誘導管制システム（以下、「A-SMGCS」という）と呼ばれるシステムが実用化導入に向けて研究開発が行われている。

A-SMGCS は、「監視」、「経路設定」、「誘導」、「管制」という広範な四つの機能が相互に連携したものとなる。このうち「誘導」に関しては、従来は主に管制官とパイロットの音声による交信に頼っていたのに対し、A-SMGCS では各航空機ごとに対応する誘導情報を誘導灯火や表示板による視覚情報として提供することを目指している。

誘導情報提供の一手段としての誘導案内灯は、誘導路交差部などの脇に設置され、現地点誘導路名や全ての進行方向の誘導路名等を表示している表示板であるが、従来のものの表示内容は固定である（図1）。しかし、A-SMGCS で使用される誘導案内灯は、それぞれの航空機によって異なる誘導情報や一時的な空港運用状況に応じた情報を表示するため、表示を変えることができるものが求められる。



図1 従来の誘導案内灯



図2 運航中パイロット評価試験中のVMSプロトタイプ

(写真手前がLED方式VMS、写真奥に誘導路を走行中の航空機)

### 1.2. 研究経緯

可変メッセージ型誘導案内灯（以下、「VMS」という）は、LEDなどの点光源をマトリックス状に配置し、その選択発光によって文字や記号を形成する方式のもの（以下、「点源文字」という）が予想される。

我々はこれまで、国土交通省航空局の委託により、VMS実用化開発の一環として、LED方式表示板について、点源文字方式であることの影響及び自発光方式であることの影響を考慮し、従来の誘導案内灯に対する輝度基準の適用可能性、昼光下における適切な表示輝度、昼光による観測色度の変化等について検討してきた<sup>1)~4)</sup>。

さらに、平成14年度には、VMSのプロトタイプを試作し、羽田空港に仮設置して（図2）、運航中のパイロットによる視認性の評価試験（以下、「運航中パイロット評価」という）を行った<sup>5)</sup>。この時の表示輝度は、それまでの研究結果などから決定するとともに、昼/夜（又は昼/薄暮・薄明/夜）の表示輝度について環境照度をもとにした2段階（又は3段階）の自動切替制御を行った。

その結果、全体的に試作した VMS の視認性は高いと評価された。しかし、薄明時又は薄暮時の時間帯については、「明るすぎる」などの好ましくない視認性評価も一部見られ、環境の明るさが短時間に急変する時間帯ではきめ細かく表示輝度を制御することが望ましいと考えられた。

このため、本報告では薄暮時や薄明時の表示輝度レベル、輝度切替タイミング等の検討資料として、薄暮時において、昼光による表示面照度と適正表示輝度との関係を視覚実験により求めた。あわせて、この結果を用い平成 14 年度に行った運航中パイロット評価における明る過ぎるなどの評価に関する考察を行った。

## 2. 実験方法等

### 2.1. 実験用表示板

R,GB の LED によるフルカラー表示、表示面有効寸法 640mm×640mm、ドット間隔 10mm である（詳細は、文献 4）参照）。1 文字表示の視覚実験用小型表示板である。概観を図 3 に示す。

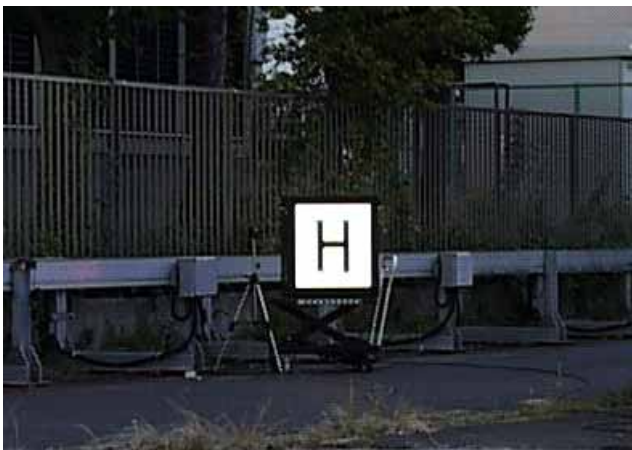


図 3 視覚実験用表示板

### 2.2. 実験方法

#### 2.2.1. 実験実施日時および天候状況

1 日目：平成 15 年 10 月 24 日 16:30～18:10 快晴

2 日目：平成 15 年 11 月 14 日 15:30～17:20 快晴

#### 2.2.2. 表示板設置位置、観測位置等

表示板は、当研究所敷地内で近傍に人工照明がなく、かつ、表示板が周辺の建造物等の日影に入ることのない場所に、ほぼ南東の方角に向けて設置した。実験中の夕刻には、表示面に太陽の直射光が射すことのない方角である。

被験者は表示面正面の 30m の距離から観測した。

小型表示板の昼光による表示面照度及び水平面昼光照度を自動計測した。

#### 2.2.3. 被験者

1 日目、2 日目いずれも 32 名の被験者（視力 1.0 以上、色覚正常）が参加した。1 日目は 24～44 歳（平均 32.4 歳）の女性、2 日目は 25～45 歳（平均 33.9 歳）の男女である。両日を通じて参加したのは 4 名のみであった。

#### 2.2.4. 実験条件

(a) 表示輝度：75～3,000 cd/m<sup>2</sup> の間の 8 段階

(b) 表示色度：黄背景黒文字。[黒は非点灯。背景の黄色は、表面色黄の色度範囲内で、CIE1931xy 色度座標  $x=0.452$ 、 $y=0.477$ （暗室での測定時）]

(c) 表示文字：ICAO で規定されているフォントのアルファベット A～H のうちから 1 文字をランダムな順番で呈示した。

(d) 呈示時間：2 秒。

(e) 昼光照度：概ね以下の各昼光照度（水平面照度）の時点で観測を行った。昼光による表示面照度（垂直面照度）も同時に測定記録した。

・1 日目 1000、600、300、150、75、30、0.3 lx

・2 日目 6000、4000、2000、1000、600、150、0.2 lx

図 4 に実験実施日の昼光照度の変化を示す。実験実施日の 10 月 24 日及び 11 月 14 日の日入時刻は、それぞれ 16 時 52 分及び 16 時 35 分（理科年表より、経度がほぼ同等の横浜の日入時刻から類推）位である。図 4 から分かるように、昼光照度は日中の数万 lx のレベルから、日入前 1 時間程度から急速に低下し始め、日入後約 1 時間で 1 lx 以下の完全な夜間の状態になる。特に、日入後 30 分間の照度の低下速度が急激である。この環境の明るさの変化に視覚系の順応が十分

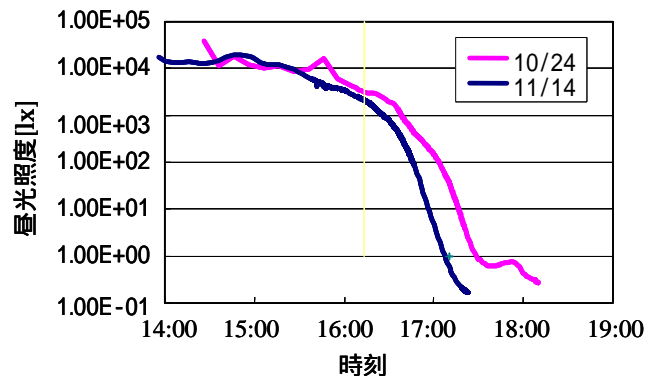


図 4 実験実施日の昼光照度変化

追いつかず、視認性が低下することが知られている。

## 2.3. 評価方法

### 2.3.1. 評価項目

評価項目は次の2項目とした。

(a) 明るさ：「明るすぎる」/「明るい」/「ちょうど良い」/「暗い」/「暗すぎる」の5段階評価。

(b) 読みやすさ：「とても読みやすい」/「読みやすい」/「どちらともいえない」/「読みにくい」/「とても読みにくい」の5段階評価。

### 2.3.2. 評価手順

急速に暗くなっていく環境下での視覚特性の把握実験であることから、特に留意したのは、自然環境の明るさ変化への順応状態をできるだけ乱さないようにすることである。このため、被験者各人の表示板観測時間を極力短くすると共に、被験者には観測時以外の待機中に表示板や人工照明等の周囲より特異的に明るいものを見ないように求めた。具体的な観測・評価手順は次のとおりである。

被験者は実験開始1時間前から実験場所近傍で待機し、明るさが変化する環境に十分に順応した。

被験者32名を年齢の偏りがないように8名づつの4グループに分けた。

昼光照射度が実験条件に合致したとき、各グループは実験者の合図によって観測位置に順番に入れ替わりながら、各グループ毎に呈示される一つの視標文字を観測した。この観測位置への各グループの入れ替わりは、全グループが一定の昼光照射度の下に観測ができるよう、最大限に素早く行われた。視標文字の呈示は、それぞれのグループごとに異なる表示輝度で行われ、一つの昼光照射度の下で合計4段階の表示輝度による評価データを収集した。つまり、各被験者は1つの昼光照射度では1回のみ観測し、その昼光照射度下における4つの表示輝度に対する評価は被験者がそれぞれ異なっていることになる。

この4グループによる一つの昼光照射度下での観測に約40秒かかった。この間の昼光照射度の変化は実験条件として設定した値の5%程度であった。

### 2.3.3. 観測結果の解析方法

明るさに関しては、「明るすぎる」に評価点1を、「明るい」に0.75を、「ちょうど良い」に0.5を、「暗い」に0.25を、「暗すぎる」に0を割り当てて、被験者の応答の平均点を計算した。この平均点にプロビッ

ト解析を行って表示輝度に対する評価の近似曲線を求め、「ちょうど良い」(評価点0.5)と評価される表示輝度を算出し、考察を行った。

読みやすさに関しても同様に、5段階評価に対して、それぞれを1, 0.75, 0.5, 0.25, 0点として平均点を算出し、結果を整理した。

なお、実験実施日は2日間にわたっているが、本実験では表示面に太陽直射光が射すことはないため、表示板の視認性は太陽高度等には依存せず、昼光照射度のみ依存しているものと考え、昼光照射度をパラメータとして一括して整理することとした。

## 3. 実験結果

### 3.1. 明るさについて

実験結果の例を図5に示す。

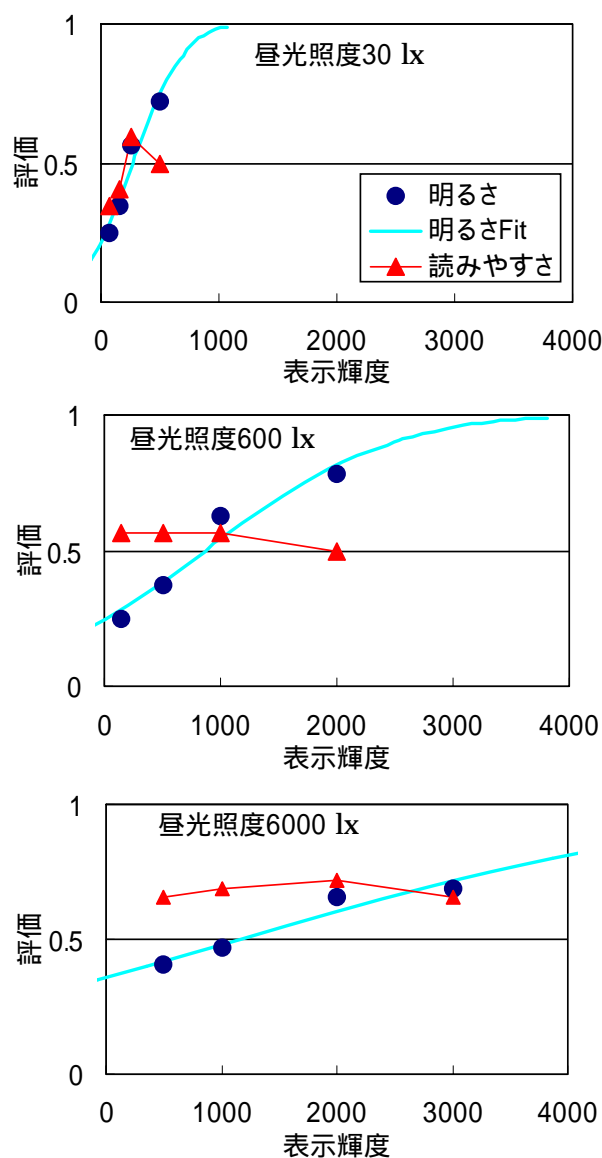


図5 実験結果の例

三つのパネルは上から順に、昼光照度が 30 lx、600 lx、6,000 lx の場合である。図の横軸は表示板の表示輝度であり、縦軸は解析した評価結果である。縦軸の 0.5 が明るさが「ちょうど良い」又は読みやすさが「どちらとも言えない」に相当する。図中の曲線は、明るさに関する評価結果に対してプロビット解析を行った結果である。

表示板の表示輝度が高いほど、「明るい」「明るすぎる」という評価が多くなっていくことが分かる。各表示輝度に対する被験者は異なっているものの、実験 1 日目及び 2 日目とも大きく評価が入れ替わることもなく、これらの結果を一連の実験とみなしてよいと考えられる。

プロビット解析の結果より、明るさが「ちょうど良い」(評価点 0.5) と評価される表示輝度を求め、実験実施日ごとに表 1 及び表 2 に示す。これを昼光照度に対してプロットした結果が図 6 である。

図 6 より、昼光照度が高くなるほど、表示面の適正

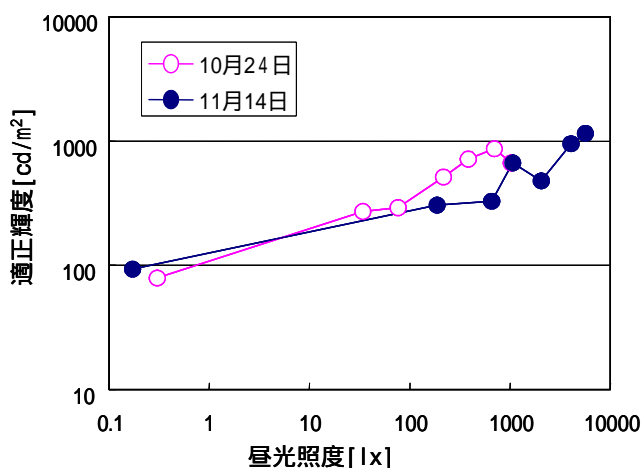


図 6 昼光照度に対する表示板の適正輝度

輝度も高くなることが分かる。しかし、昼光照度によっては、実験 1 日目と 2 日目の結果が必ずしもよい一致を見せていない。違いが大きい昼光照度 100~1,000 lx は、図 4 から分かるように昼光照度が最も速い速度で変化する時間帯に対応しており、1 日目は約 20 分、2 日目は約 15 分程度の間起こった変化である。環境の明るさが完全に暗くなった時の結果にはほとんど差がみられないことから、環境の明るさ変化が速い過渡的な状況では、視認性評価の上での誤差も大きいことが推測される。

### 3.2. 読みやすさについて

表示板の文字を読むことに注目して判断してもらった結果は、図 5 に示したとおりで、他の条件の場合も含め本実験全体を通して、どの表示に対しても評価は「どちらともいえない」または「読みやすい」に集中しており、「読みにくい」以下の評価はほとんどなかった。より細かくみれば、明るさ評価が「ちょうどよい」と判断されるときには読みやすさ評価は「読みやすい」と評価され、「明るい」や「明るすぎる」に近い評価のときは読みやすさ評価は「どちらともいえない」と評価される傾向がみられる。

これらのことから、今回の実験条件では表示板の読みやすさを確保した範囲で、より適切な表示板の明るさを求めるものとなっていると言える。

## 4. 考察

### 4.1. 環境照度の変化に対応した適正表示輝度

今回の実験結果を昼光による表示面照度(垂直面照度)を横軸としてプロットし直し、さらに、平成 13 年度に実施した<sup>4)</sup> 日中における表示板の適正輝度の

表 1 昼光照度ごとの表示板の適正輝度 (1 日目)

昼光照度[lx]	1040	694	381	215	75.5	34.4	0.30
昼光による表示面照度[lx]	516	360	179	108	36.6	16.4	0.17
適正輝度[cd/m <sup>2</sup> ]	673	869	720	519	289	270	79.6

表 2 昼光照度ごとの表示板の適正輝度 (2 日目)

昼光照度[lx]	5720	4060	2070	1070	666	190	0.17
昼光による表示面照度[lx]	2190	1780	869	472	272	71.2	0.11
適正輝度[cd/m <sup>2</sup> ]	1160	950	483	675	331	306	92.5

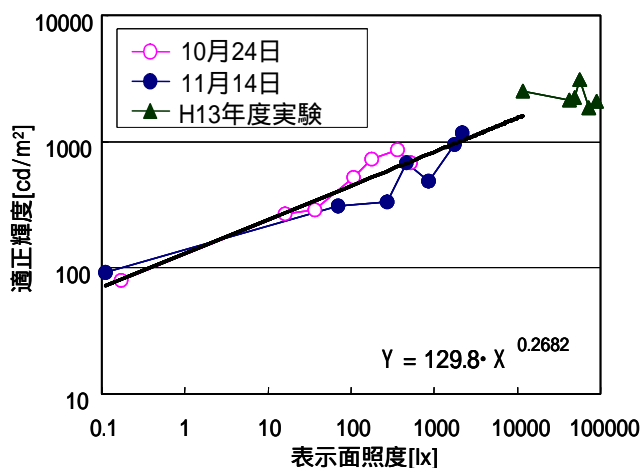


図7 表示面照度に対する表示板の適正輝度

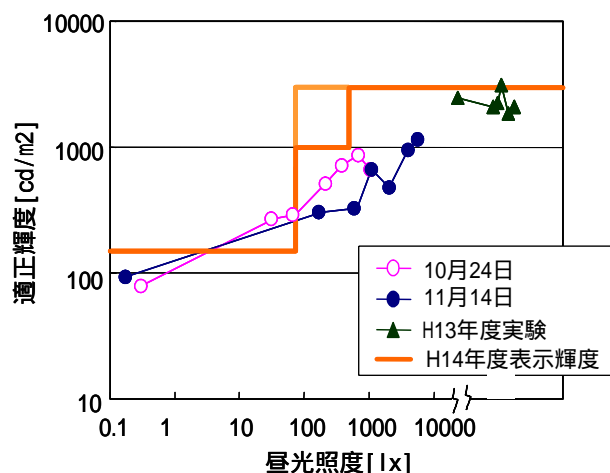


図8 運航中パイロット評価時の表示輝度と適正表示輝度

結果（図中凡例では、「H13 年度実験」と表記）を同時にプロットしたものを図7に示す。縦軸は明るさが「ちょうどよい」と評価された表示輝度である。

昼光による表示面照度が10,000 lx以上の平成13年度の結果では、適正輝度はほぼ一定であるのに対し、今回の実験で調査した数千 lx以下では最適な表示輝度が昼光による表示面照度によって大きく変化している。

図7の実験結果について、実験実施日によるばらつきも含めて累乗近似を行った近似曲線を図中に示した。この曲線の式は

$$\text{適正輝度} = 129.8 \cdot [\text{表示面照度}]^{0.2682}$$

となった。昼光による表示面照度が10,000 lx以下となる場合には上式を使って求められる輝度で表示することが望ましいといえる。

#### 4.2. 運航中パイロット評価の結果に関する考察

平成14年度に行った運航中パイロット評価<sup>5)</sup>においては、表示輝度は昼光照度（水平面照度）に応じて、表3のような2段階又は3段階の自動切替制御とした。自動制御としたのは、単に、評価試験実施上の便宜のためである。

図8は、横軸を昼光照度とし、今回の実験結果に加

え、運航中パイロット評価の際の表示輝度（図凡例では「平成14年度表示輝度」と表記）を階段状の折れ線で記入したものである。なお、図中にプロットした平成13年度実験結果（日中の適正輝度データ）だけは表示面照度（垂直面照度）対応の輝度値であり、昼光照度に換算すれば10,000 lx～数万 lxに対応している。

図より、3段階制御での薄暮時等の1,000 cd/m<sup>2</sup>表示は、やや高めであるが概ね適正に近い明るさで表示していたことが分かる。しかし、2段階制御の昼光照度75 lx～数千 lxにおける表示輝度3,000 cd/m<sup>2</sup>は明らかに高すぎると思われる。

運航中パイロット評価は1月に行ったものであり、朝6時台に3,000 cd/m<sup>2</sup>の表示を観測したパイロットの半分以上が「明るすぎる」との評価をしていた。これは、ちょうど上述の昼光照度75 lx～数千 lxの時間帯であったものと推測される。

#### 5. まとめ

自発光式の可変メッセージ型誘導案内灯では、きめ細かな輝度切替が望ましく、適切な切替タイミングが重要であると考えられる。

可変メッセージ型誘導案内灯の実用機において、何

表3 運航中パイロット評価における表示輝度の制御

昼光照度	(夜間) 75 lx 未満	(薄暮時又は薄明時) 75 ~ 500 lx	(昼間) 500 lx 以上
2段階制御	150 cd/m <sup>2</sup>	3,000 cd/m <sup>2</sup>	
3段階制御	150 cd/m <sup>2</sup>	1,000 cd/m <sup>2</sup>	3,000 cd/m <sup>2</sup>

段階の輝度制御とするか、また、切替を自動制御/管制官による手動制御のいずれにするかは、同様に光度制御を行っている空港内の他の航空灯火との連動関係、管制官の作業負担並びに自動制御とする場合の環境照度センサーの信頼性等を勘案して、今後検討されなければならない。

本研究では、特に薄暮時における周囲環境の明るさと表示板の適切な表示輝度との関係を、明るさが急変していく自然環境への順応状態のもとでの視覚実験により明らかにした。

これにより、どのような輝度制御方式のもとでも必要不可欠となる、輝度切替段数に応じた多段階の適切な表示輝度レベルと切替タイミングに関する設計のための基礎資料が得られた。

なお、自動制御とする場合は、2段階を超える多段階制御が比較的行いやすいと思われるが、一方、環境照度センサーの信頼性を確保するため、センサーの装着位置、装着方向、耐候性、保守性等に十分な検討を要すると思われる。

#### 【参考文献】

- 1) 豊福,塚田,他 ; 「可変メッセージ型誘導案内灯の輝度基準に関する基礎的検討」平成12年度交通研研究発表会講演概要(2000)
- 2) 塚田,豊福,他 ; 「可変メッセージ型誘導案内灯の可読性に対する輝度条件」交通安全公害研究所報告、第30号 (平成13年2月)
- 3) 塚田,豊福,他 ; 「可変メッセージ型誘導案内灯の輝度基準に関する基礎的検討 (第二報)」平成13年度交通研研究発表会講演概要 (2001)
- 4) 豊福,塚田,他 ; 「可変メッセージ型誘導案内灯の昼光下における視認性」平成14年度交通研研究発表会講演概要 (2002)
- 5) 豊福,塚田,他 ; 「可変メッセージ型誘導案内灯のパイロットによる実地視認評価」平成15年度交通研研究発表会講演概要(2003)