

可変メッセージ型誘導案内灯の 昼光下における視認性

交通システム部

豊福 芳典

塚田 由紀

青木 義郎

1. はじめに

先進型地上走行誘導管制システム（A-SMGC S）の導入は、各航空機ごとに対応した誘導情報を提供し、空港内における航空機の安全で円滑な走行を実現させ、運行効率の向上につながると期待されている。このシステムで使用される誘導案内灯も、それぞれの航空機ごとに必要な情報を表示させ、また、空港の運用状況に応じた情報を表示させることとなるので、表示内容を変えることができる必要がある。

可変メッセージ型誘導案内灯は、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。一方、従来から使用されている誘導案内灯は表示板に描いた文字等を夜間には内照式又は外照式で照明したもので、その際の輝度基準が定められている。

我々は、可変メッセージ型誘導案内灯として点源文字方式の導入検討の一環として、従来の輝度基準の適用可能性や表示輝度と可読性の関係について検討してきた。まず、夜間などの環境照度が大きな影響を持たない条件において、大気クリア及び低視程条件下で点源文字はその平均輝度と同一輝度の従来方式表示とほぼ同等又はそれ以上の可読性が得られることなどの結果を得た^{1)~3)}。

しかし、この点源文字方式であることの影響の他に、自発光方式であることの昼光による影響を検討する必要がある。従来方式表示は、プラスチック板等に描かれた文字等を見るので、昼間など周囲が明るいほど可読性に有利である。一方、LED等を用いた自発光方式文字は、昼光が表示面上で反射し外乱光として重畳されるため、昼光が明るいほど可読性を阻害することとなる。可変メッセージ型誘導案内灯の実用化設計に当たっては、この点を考慮した

輝度要件等の基礎資料が必要となる。

このため、本報告では、昼光下において、LEDを用いた自発光方式表示板の可読性を確保するために必要な輝度、昼光による観測色度への影響等について検討した。

2. 実験方法等

2.1. 実験用表示板の概要

2.1.1. 主要仕様等

LED方式の小型表示板（以下、「実験用表示板」という）を試作し、これを用いて昼光下における可読性の視覚実験を行った。実験用表示板は主に表示部及び制御部より構成される。表示部外観を図1に、主な仕様を表1に示す。

R,G,Bによるフルカラー方式である。

R,G,BのLED素子の組に対してひさしを着脱することができる。ひさし長さはほぼ5mm、10mm、15mmの3種類のものを用意した。

表示はパソコンにより制御される。制御用パソコン画面の特定の64×64ドット領域の各ドットのR,G,Bの発光輝度を256階調で任意に指定できる。これらの情報はLANで表示部に伝送され、そのままLED表



図1 実験用表示板の表示部外観

表 1 実験用表示板の主な仕様

項目	仕様
表示部	
発光素子	LED
色	R,G,Bによるフルカラー、各色 256 階調
駆動方式	1/4duty、ダイナミック点灯
最小混色距離	10m 以下
有効表示面寸法	640mm × 640mm
素子間隔	縦、横 10mm
最大輝度	5,000 cd/m ² 以上（白色発光時、正面）
ひさし	長さ5 / 10 / 15mm。着脱可能。
制御部	
本体	ノート型パソコン、Pentium 800MHz
通信方式	LAN

示板に反映される方式である。

2.1.2. 実験用表示板の光学特性

各 LED 素子への 256 階調の入力値とその発光輝度との関係を測定し、それらは線形近似できることを確認した。

R,G,B の LED 素子によって作られる混色の三刺激値は各 LED 素子の三刺激値の和であるから、各 LED 素子は独立に制御され、それぞれの色度点は発光強度によって変化しないと仮定すると、次式のように表される。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \frac{L_r}{y_r} \begin{pmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{pmatrix} + \frac{L_g}{y_g} \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{pmatrix} + \frac{L_b}{y_b} \begin{pmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \\ y_r & y_g & y_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_r \\ L_g \\ L_b \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} L_r \\ L_g \\ L_b \end{pmatrix}$$

ここで、 X, Y, Z : 混色の三刺激値
 x_r, y_r : R 素子の色度座標
 $z_r = 1 - x_r - y_r$
 L_r : R 素子の輝度
 (G、B 素子についても同様)

各 LED 素子の色度座標は既知であるから、上式を逆に解くことによって、呈示したい色が必要とする各 LED 素子の輝度を求めることができる。実験用表示板での実測により、各 LED 素子への 256 階調の入力値と呈示された混色色度の実測値はほぼ上述の計算どおりであることを確認した。

実験用表示板の色再現域と航空灯火の色度とし

て規定されている色度範囲を合わせて CIE1931xy 色度座標上 (図 2) に示す。図 2 の三角形の頂点が R, G, B 各 LED 素子の色度点であり、色再現域はこの三角形の内部に限定される。また、各 LED 素子の最大輝度によって色再現域内の呈示可能な最大輝度も制限される。図 2 の R と G を結ぶ線上の × 印の色度において本表示板で呈示できる最大輝度も付記した (図中の数値)。

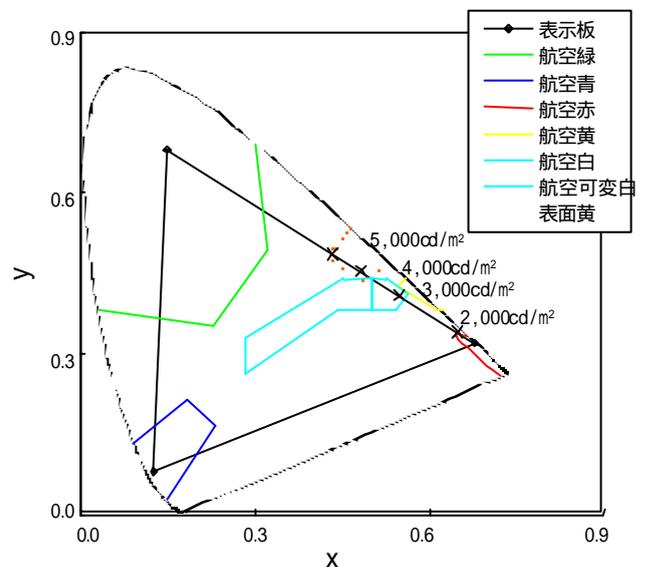


図 2 実験用表示板の色再現領域と航空灯火の色度の色度範囲

2.2. 視覚実験方法

実験用表示板の視覚実験を屋外の当研究所敷地内で平成13年1月から2月にかけて2回のシリーズに分け実施した (以下、「第1実験」、「第2実験」という)。実験時間は、いずれの場合も 12:00、14:00 (表示面を南面設置) 及び 15:30 (表示面がほぼ太

陽方向に向くように設置)である。

第1実験で用いた刺激は、航空赤($x=0.670, y=0.320$ 、赤 LED 素子の単独発光)及び航空白($x=0.333, y=0.333$)並びに航空黄の色度範囲に極く近接した色度の黄($x=0.558, y=0.403$ 。以下、単に「航空黄」という)を選び、それぞれの色の文字(背景非点灯)及びその反転並びに赤背景白文字(輝度対比1:5及び1:10)、合計8種類の色の組み合わせを使用した。それぞれの輝度を10段階で変化させた。文字は高さ24cmのゴシック体のアルファベット大文字とし、文字の種類、色及び輝度はランダムな順序で2秒間呈示した。これを、10mm ひさしを装着したものと、しないものでくり返した。

第2実験で用いた刺激は、航空黄の文字(背景非点灯)及びその反転並びに赤背景白文字(輝度対比1:5及び1:10)の合計4種類の色の組み合わせを使用した。それぞれの輝度を8段階で変化させた。ひさしを装着しないもの、5、10または15mmのひさしを装着したもので実験をくり返した。それ以外の条件は第1実験と同様とした。

被験者は、色覚正常、視力1.0以上の10名で、年齢層は27~56歳であった。

10名の被験者が表示板から30m離れた位置で同時に観測し、呈示された1文字(呈示時間2秒)の読み

やすさに関して、「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段階評価を行った。

2.3. 解析方法

「とても読みやすい」という評価を100点、「読みやすい」を75点、「どちらともいえない」を50点、「読みにくい」を25点、「とても読みにくい」を0点として各試行毎に、全被験者の応答の平均点を計算した。次に、応答時の表示面照度が当該時間帯の平均的な照度より極端に低い特異値を示している試行の応答は除き、各条件ごとの平均点を求めた。この平均点に対し、プロビット解析を行って結果の近似曲線を求め、平均が50点である「どちらともいえない」及び平均が75点である「読みやすい」と判断される文字の輝度を算出し、考察を行った。

3. 視覚実験結果及び考察

3.1. 輝度要件

表2に、視覚実験と同時に測定した表示板上の平均照度を示す。第1実験の実施日は快晴で、照度も高く、昼光に対する表示板の視覚実験を実施するのに適していたが、第2実験を実施した日は曇りが続き、照度も低かった。

表2 実験用表示板上の照度(観測中の平均照度)(単位:lx)

	1月29日	1月30日	1月31日	2月1日	2月26日	2月27日	3月1日
12:00		86,138	93,298	88,730	10,603	36,807	55,444
14:00	52,343	56,322	64,353	73,044	16,345	41,688	2,689
15:30	15,671	41,241	22,406	44,218	7,626	4,388	1,1697

図3に第1実験12:00に実施したひさし無しの結果を一例として示す。横軸は実験用表示板に呈示した文字の輝度、縦軸は被験者の応答の平均点を示している。航空赤をR、航空黄をY、航空白をW、輝度対比1:5の赤背景白文字をW/R1:5、輝度対比1:10をW/R1:10とした。図中の曲線は各色の文字に対する実験データにプロビットフィッティングを行った結果を示している。

どの色の文字も輝度が高いほど読みやすいと評価されていることが分かる。また、文字の領域が発光しているものと、反対に背景が発光しているものとは、実験結果の差は小さかったため、図3には示

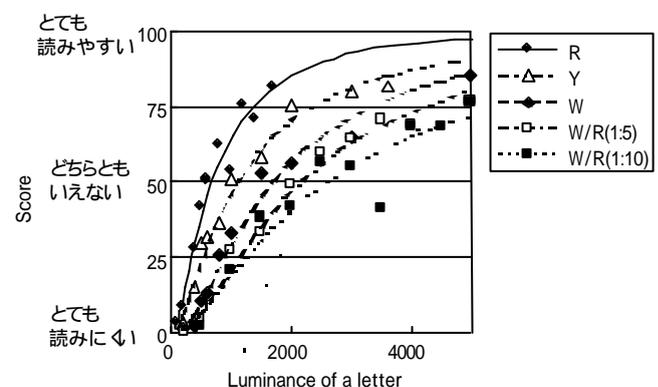


図3 第1実験12:00の実験結果(ひさし無し)

さなかった。それ以上に文字の色の違いによる読みやすさの差が大きかった。

次に、図4に、表示面照度に対する「読みやすい」(75点)と評価された文字の輝度を示す。

同図より、赤い文字は輝度が低い場合でも最も読みやすく、次に黄色、白、赤背景白文字の輝度対比1:5、1:10の順で読みやすいことが分かる。この傾向は、どの実施日、実施時間においても同様であった。「読みやすい」と評価されるために必要な輝度は文字の色によっても大きく異なり、赤では1,000~2,000cd/m²程度であるが、黄文字では1,500~3,000cd/m²、白文字では3,000~4,000cd/m²、輝度比1:10の赤背景白文字では5,000cd/m²(背景は500cd/m²)であった。

また、図4に示されている2種類の表示面照度は大幅に異なるにもかかわらず、照度の低い方が「読みやすい」と評価される文字輝度はむしろ高くなる(読みにくい)傾向が示されたが、その理由として太陽高度による影響が考えられる。図中、照度が低い時のデータは15:30の、照度が高い時のデータは12:00の測定結果である(図の上側に測定時間を記

す)。表示面照度は低くても太陽が低い位置から表示板を照射する場合の方が、LED前面等からの反射光により可読性が阻害される影響が大きいと推測される。

それぞれの色について、本実験条件を通して「読みやすい」(75点)とされた最大輝度(以下、「L₇₅」と記す)及び「どちらともいえない」(50点)とされた最大輝度(以下、「L₅₀」と記す)を概数としてまとめて表3に示す。それぞれの最大輝度としては15:30の実験結果が該当するので、ひさしの有無による差は大きくない。

実運用を考慮すると、一般的には最も厳しい条件においても読みやすい輝度を確保することが望ましいと考えられる。どのような太陽位置条件でもL₇₅が確保されれば問題ないが、L₅₀は最悪の太陽位置条件において読みにくくはないが、読みやすいという程でもないという「どちらともいえない」輝度レベルを意味し、表示面の北向き設置など、設置・使用条件を限定して考えることができる場合にはL₅₀でも実用上大きな問題は少ないと考えられる。

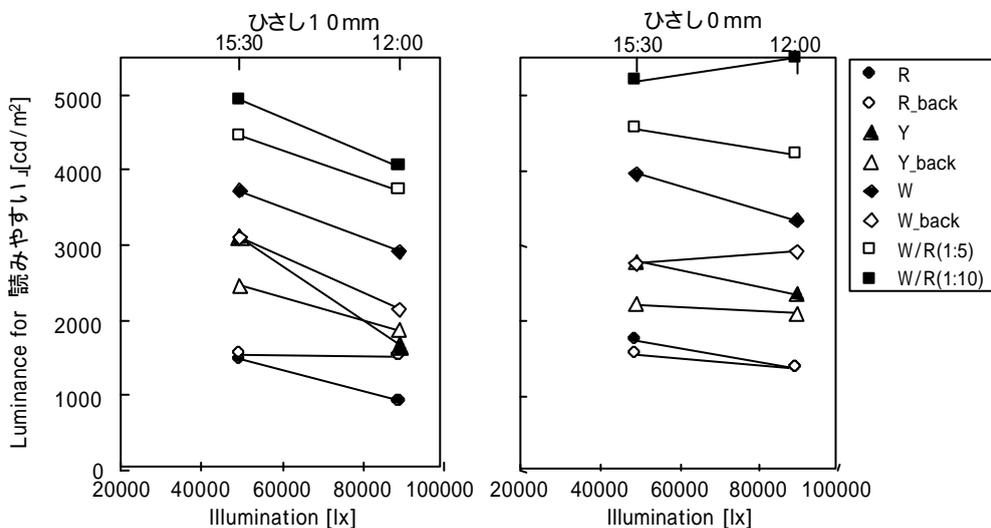


図4 照度に対する「読みやすい」と評価された文字の輝度

表3 「読みやすい」及び「どちらともいえない」輝度レベル (cd/m²)

		R	Y	W	R_back	Y_back	W_back
L ₇₅	10mmひさし	1,500	3,100	3,700	1,600	2,500	3,100
	ひさし無	1,700	2,800	4,000	1,600	2,200	2,900
L ₅₀	10mmひさし	800	1,300	1,900	900	1,100	1,500
	ひさし無	800	1,300	1,900	800	1,100	1,600

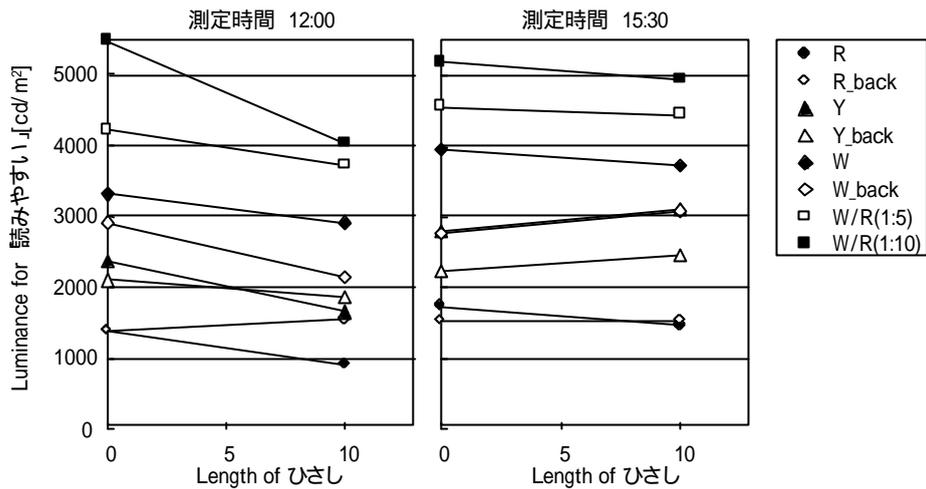


図5 ひさしの長さに対する「読みやすい」と評価された文字の輝度(第1実験)

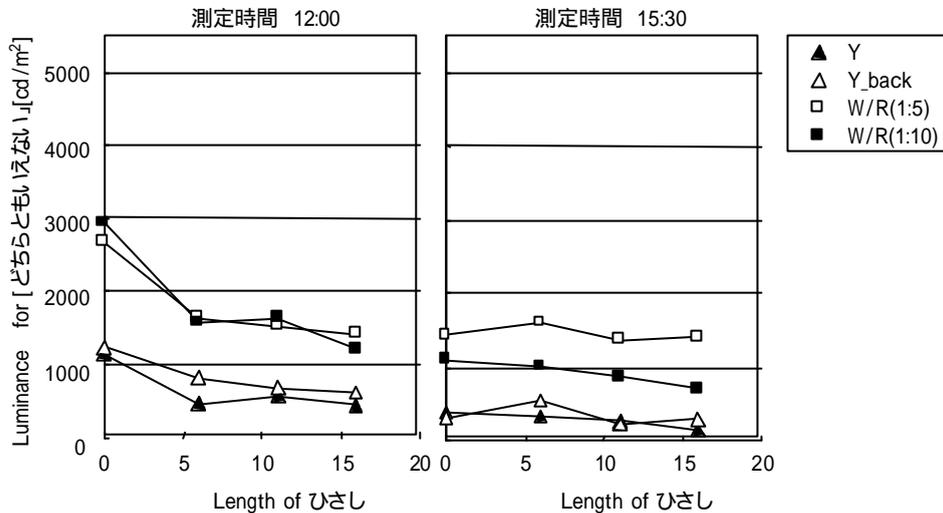


図6 ひさしの長さに対する「どちらとも言えない」と評価された文字の輝度(第2実験)

3.2. ひさしの効果

図5にひさし長さに対する「読みやすい」と評価された文字の輝度について第1実験の結果を示す。測定時間15:30(右図)の文字黄色の場合を除く全ての条件で、ひさしを装着した方が低い輝度で「読みやすい」と評価された。12:00の結果(左図)では10mmひさしを装着した場合、「読みやすい」と評価された文字輝度はひさしがない場合に比べ1,000cd/m²ほど低下している。しかし、太陽高度が低くなる(15:30)とひさしの効果が減少することも明らかとなった。

そこで、ひさしの効果をより詳しく調査するため、第2実験においては呈示色は黄及び赤白の組み合わせに限ったが、ひさし長さを0mm(ひさし無し)、

5mm、10mm、15mmと変化させた(図6)。いずれの時間帯の場合も第1実験と同様の結果である。

また、第2実験実施日は薄曇りで日差しが強くなかったため、ひさし長さの影響を見るのに好条件ではなかったが、12:00の結果ではひさし無しとひさし長さ5mm以上のものとの輝度差に比べ、5mm、10mm、15mm相互の輝度差は小さかった。

3.3. 太陽の影響による色度等の変化

実験用表示板を昼光下においた場合には表示板上での反射光の影響で、被験者が観察する色度や輝度は本来呈示した(暗室で測定した)色度や輝度とは異なることが予想される。

呈示した色度と輝度の太陽光による変化を測定した結果、実際の観測輝度は呈示輝度に対してLE

呈示した色と輝度(cd/m²)

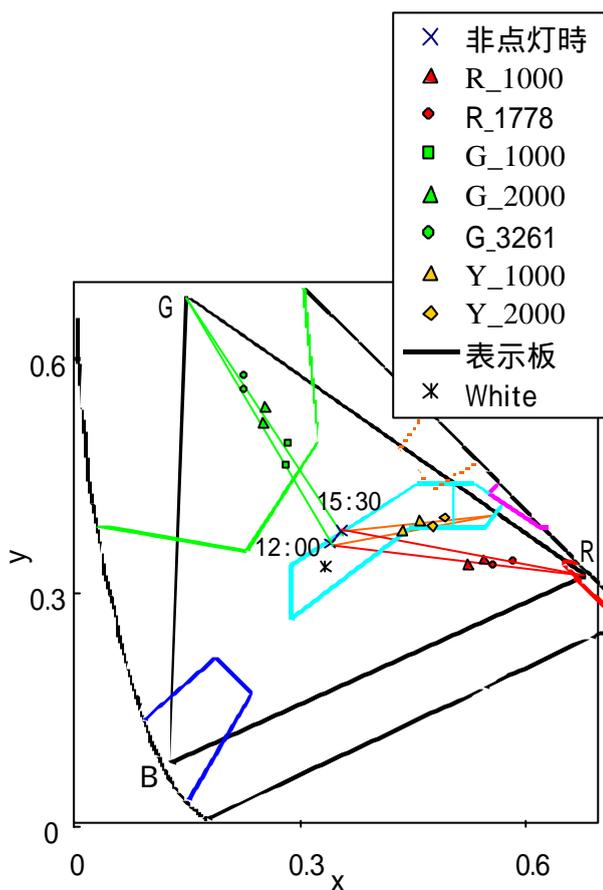


図7 太陽光による表示色の色度変化

D 非点灯時の反射光の輝度（今回の実験では約 800 cd/m²）が一様に上乘せされることが確認された。

さらに、図7に昼光下における色度の実測値をCIE1931xy色度図上に示す。凡例中の数値は呈示した輝度値である。図中のR又はGと記した三角形の頂点がそれぞれ呈示したRとGの色度点である。呈示した黄の色度点は、RとGを結ぶ直線上のYと記した点である。

一方、図中のプロット点が実際の観測色度点である。同形記号のプロット点が2個ずつあるのは、外側が15:30の測定値、中央に近い方が12:00の測定値を示している。×印は、LED非点灯時の色度測定値を示している。

観測色度点は非点灯時の色度点（×印）と各呈示色度点を結ぶ加法混色線上に乗ることが示された。二色の混色の色度点は各色光の三刺激値の和による重心則によって定まる位置となるから、実験用表示板に呈示する色の輝度が高いほど、呈示した色度点からのシフト量は小さくなる。この傾向も図中には

っきりと現れている。太陽光による色度点の変化は大きく、今回の実験の場合は黄色の観測測定値は航空白の領域に移ってしまい、赤も航空赤の領域からはずれることとなった。

4.まとめ

昼光下において、LEDを用いた自発光方式表示板の可読性を確保するために必要な輝度や昼光による色度の変化について検討した結果、以下の結論を得た。

色によって読みやすい輝度が大きく異なる。

太陽高度が昼光下での読みやすさに影響し、高度が低いほど可読性が低下する。

昼光下で読みやすさを確保するために必要な呈示輝度値を得た。

観測輝度値は、呈示輝度にLED非点灯時の反射光輝度が上乘せされたものとなる。

観測色度は、LED非点灯時の反射光色度点と呈示色度点との加法混色線上に乗ることが確認され、昼光によって白色の方向へ色度がシフトする。呈示輝度が高いほどこのシフト量は小さい。色度の変移については、パイロットにとっての違和感などを検証する必要があると思われる。

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（第30回）交通安全公害研究所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) 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（第二報）」、平成13年度（第1回）交通安全環境研究所研究発表会講演概要（2001）