

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）

交通システム部

塚田 由紀

豊福 芳典

青木 義郎

1. はじめに

A-SMGCS 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、運行効率の増大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のみ表示、また、空港の運用状況に合わせた情報を表示させる必要があり、可変メッセージ型のものが望まれる。

可変メッセージ型誘導案内灯（以下、「VMS」という）は、複数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、記号等を形成する方式のものが予想される。一方、従来の誘導案内灯は表示板に描いた文字、記号を内照式、または外照式で照明したもので、文字や記号は全て面光源となっている（図1(a)）。そのため、誘導案内灯の輝度基準（図1(b)）もこの面光源方式の誘導案内灯を想定して、その可読性を確保するための基準と考えられる。そこで、新たに導入が予想される点光源方式の誘導案内灯に従来の輝度基準を適用することができるか、あるいはどの

ように適用すればよいかを検討する必要がある。

我々は、第一報において視程クリアな条件下で、点光源方式文字（以下、「点源文字」という）の明るさを、点光源で埋められている領域内の平均輝度を指標として面光源方式文字（以下、「面源文字」という）と直接比較し、可読性が等しくなる輝度条件を求めてきた。この結果、点源文字の平均輝度が面源文字の輝度と等しいときに点源文字は面源文字と同等又はそれ以上の可読性を確保できるとの結論を得ている¹⁾。

しかし、これは視程クリアな場合であり、霧による視程低下の影響が、これら両方式文字のそれぞれの可読性に対してどのように出るか明らかにされていない。そこで、霧条件下において同様の実験により点源文字の可読性を確認するとともに、従来の輝度基準を適用できるのかを検討した。

2. 実験方法等

2.1. 実験方法

刺激にはアルファベットの「Z」を用い、文字の高さを 34 とし、向かって左に面源文字、右に点源文字を視角 2.3° 離して呈示した（図2）。点源文字は、0.6mm の穴を 1mm、2mm、4mm 間隔（それぞれ視角 1.4、2.9、5.7 に相当）でマトリックス状



操縦士は必要な情報を選択。表示内容は固定。

図1(a) 従来の誘導案内灯



輝度比 赤：白 = 1:5 ~ 1:10

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| 低視程時 | 夜間 |
| 白 300 cd/m ² 以上 | 白 100 cd/m ² 以上 |
| 赤 30 cd/m ² 以上 | 赤 10 cd/m ² 以上 |

図1(b) 現在の輝度基準

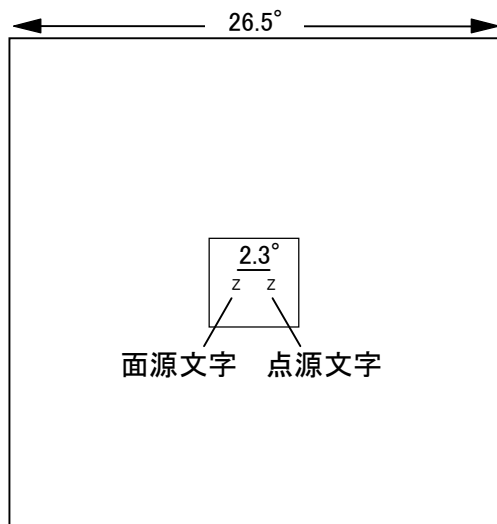


図2 呈示刺激

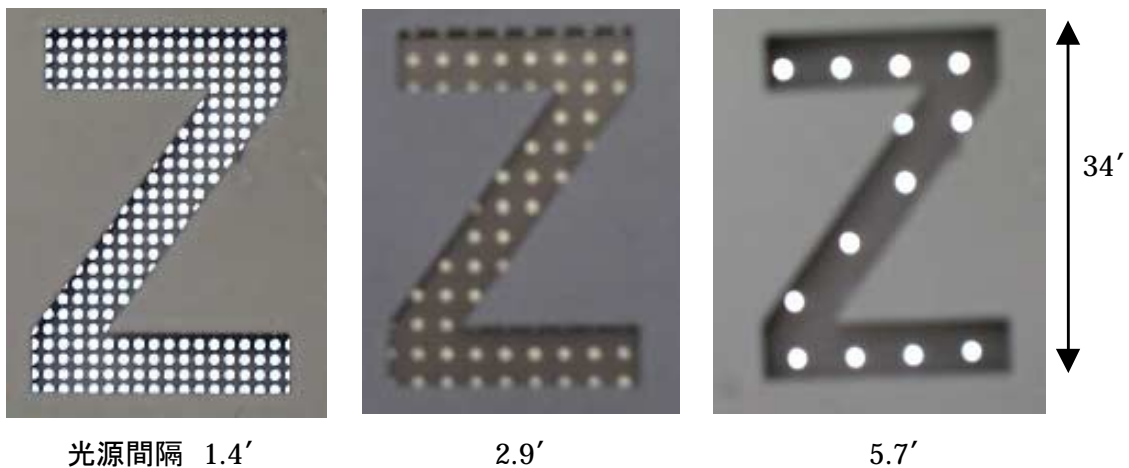


図3 点光源方式文字

に開けた3種類のステンレス板(0.3mm)のそれぞれに、「Z」の型にくり抜かれたステンレス板を重ね、後ろからHIDランプの光を当てることにより作成した(図3)。面源文字としては、同じ光源により、「Z」型にくりぬかれたステンレス板に拡散紙を通して後ろから光を照射して作成した。各方式文字の輝度は、実験者が文字ごとにNDフィルタを交換することによって変化させた。

図4に実験装置の概要を示す。霧発生装置が装着された箱(140×120×240cm。以下、「霧箱」という)の片面に刺激呈示窓、その対面に観察窓が設けられている。霧の透過率は、霧箱内のHe-Neレーザの透過率(測定距離;1,513mm)で計算され、霧発生装置

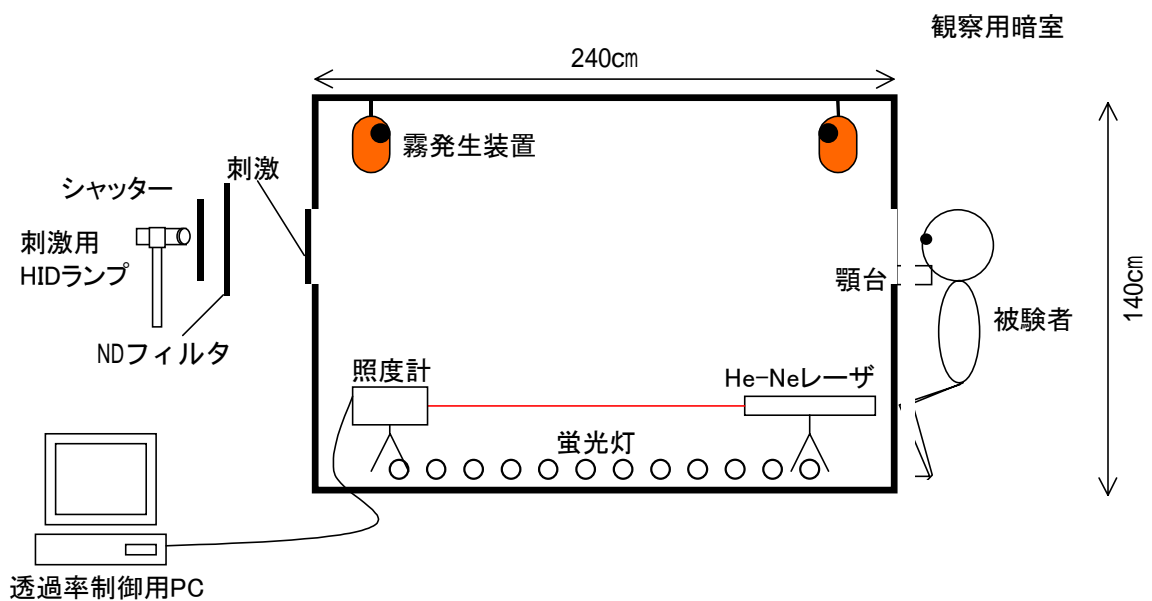


図4 実験装置

の出力をパソコンで自動制御し、霧箱内の透過率をほぼ一定に保った。

被験者は暗室から観察窓を通して自由視、自然瞳孔で刺激を観察し、呈示された2つの文字のうち読みやすい方を予め渡されたシートにチェックした。

実験条件を表1に示す。

表1 実験条件

| 項目 | 実験条件 |
|------------------------------|---------------|
| 透過率 (%) | 100, 50, 30 |
| 点光源間隔 () | 1.4, 2.9, 5.7 |
| 観察面照度 (lx) | 80, 450 |
| 面源文字の輝度 (cd/m ²) | 30, 60 |

面源文字を参照刺激とし、各条件において点源文字の輝度を变化させて応答をとった。

被験者は19~41歳の視力1.0以上、色覚正常の男女6名で、各条件を2回ずつ繰り返し行った。どの被験者も応答時間は2~3秒と短かく、容易に判断をしていた。

2.2. 点光源方式文字の輝度の定義

点光源の光強度を表す単位としては光度 (cd) が広く用いられている。一方、面光源の光強度は輝度 (cd/m²) で表されるのが一般的である。両方式文字の光強度を直接比較するため、点源文字の光強度として、以下のように定義される平均輝度 (本編では、単に「輝度」ということがある) の概念を用いて比較することとした²⁾。

$$\text{輝度 } L = LI + LF \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここでLIは点光源による輝度であり、LFは文字領域内の点光源以外の部分での反射光による輝度である。点光源同士の間部分の表面性状の反射率が十分低い場合や背景光が十分小さい場合は、LFは無視できると考えられる。LIについては

$$LI = (n \cdot I) / S \\ = (n \cdot I) / (n \cdot d^2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表される。ここで、Iは点光源1つ当たりの光度、Sは仮想的な文字面積、nは点光源の個数、dは点光源間隔距離を表している。つまり、点光源間隔で決まる仮想的文字領域内に満たされる平均輝度ということになる。

透過率: 30%
点光源間隔: 5.7'

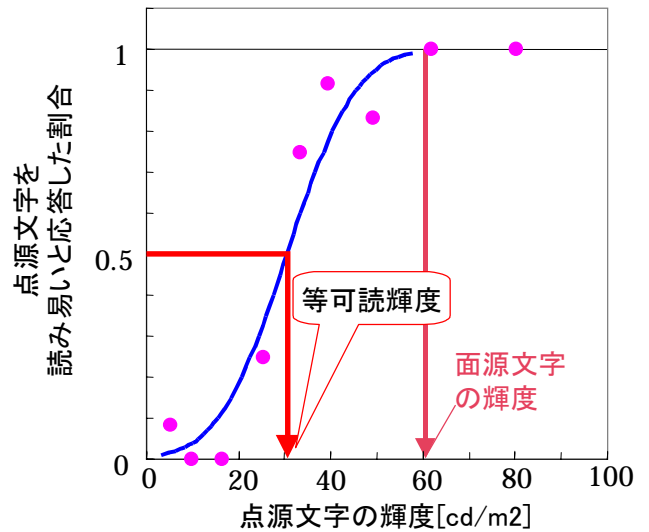


図5 点源文字が読み易いと応答した割合

3. 実験結果

図5に実験結果の一例を示す。これは、霧箱内の透過率が30%、観測面照度80lx、点光源間隔5.7の時の結果で、横軸は点源文字の平均輝度、縦軸は面源文字より点源文字の方が読みやすいと応答した割合を表している。は応答結果、太い実線は応答結果のプロビット解析の結果である。点源文字の平均輝度が高くなるに従い、点源文字を読みやすいと応答した割合は高くなっていることが分かる。この条件では、点源文字の平均輝度が面源文字の輝度より低い値で、点源文字を読みやすいと答えた割合が0.5を超えている。プロビット解析の結果より、点源文字が読みやすいと答えた割合が0.5となる点源文字の輝度を求め、これを面源文字と可読性が等しい輝度 (以下、「等可読輝度」という) として結果を整理することとした。

図6に霧箱の透過率に対する等可読輝度を示す。シンボルの違いは点源文字の点光源間隔の違いを表し、二つの図は参照刺激である面源文字の輝度 (図中の赤線) が異なる場合の結果を表している。点光源の間隔が1.4の場合の等可読輝度は、参照刺激とした面源文字の輝度とほぼ一致している。点光源の間隔が5.7の場合には、霧箱内の透過率が低いときには等可読輝度も低くなった。これは、透過率が低い (霧の濃度が高い) ところでは点源文字の平均輝度が小さくても、高い可読性を持つことを示している。

図7は等可読輝度の観測面照度による違いを表している。記号の色の違いは観測面照度の違いを、中抜

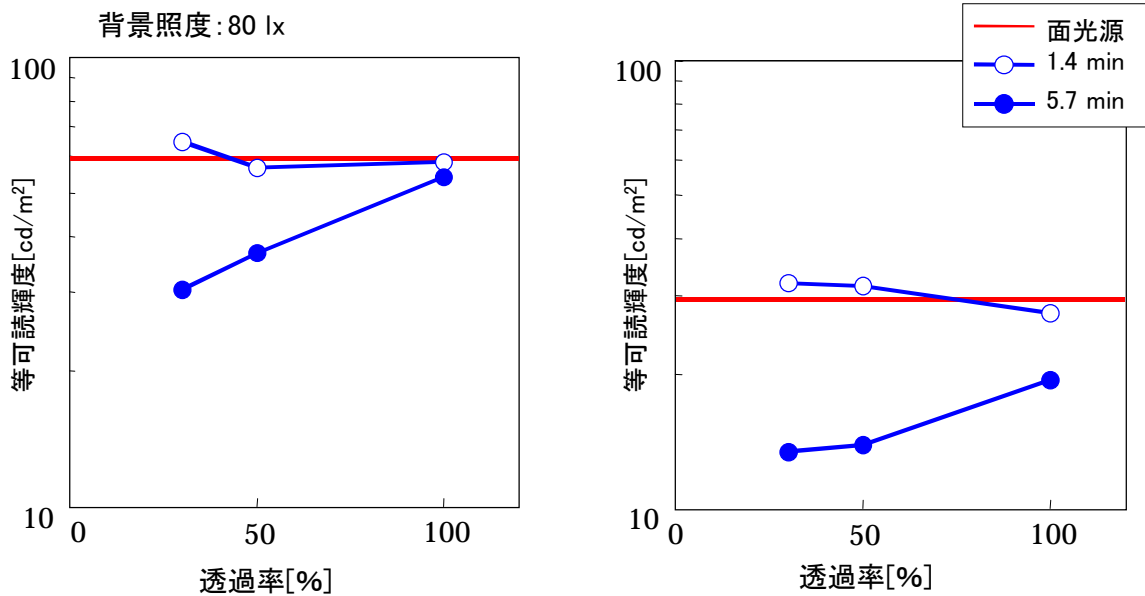


図6 透過率に対する等可読輝度

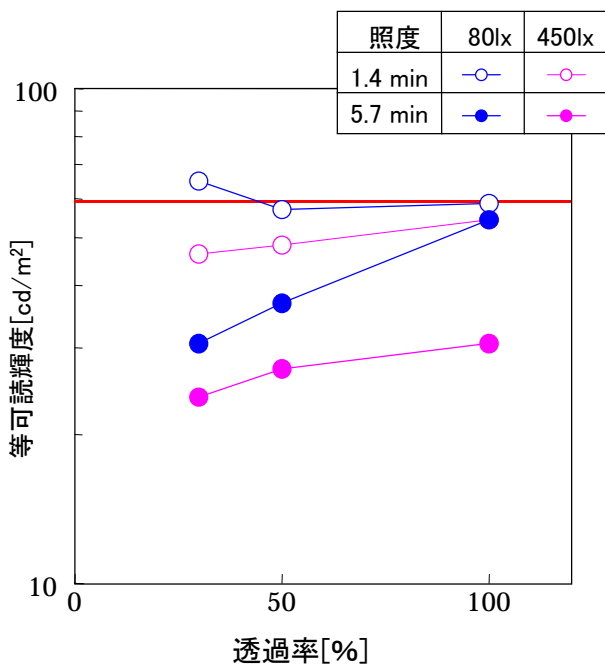


図7 観測面照度と等可読輝度

き / 塗りつぶしの違いは点光源間隔の違いを表している。点光源間隔が 1.4、5.7 のどちらの場合でも、観測面照度が高い方が等可読輝度も低くなることを示している。

4. 考察

被験者の報告によると、光源間隔が 1.4 の点源文字は光源 1 つ 1 つを知覚することは出来ていなかった。刺激はほぼ同じ 2 つの面源文字を観察しているように見えていた (6 名の被験者中 5 名が面源文字と同

じだと報告していた)。視力 1.0 の被験者の分解能は規定の視環境で 1 であるから、霧によって分解能が低下していたと考えられる。点光源の間隔を限りなく小さくすれば、光源は個別に知覚されなくなり面源文字と等しくなることが予想される。光源間隔 1.4 の結果は面源文字と一致していると考えられる。

図 6 は透過率の低下が点源文字の等可読輝度を低下させることを示している。参照刺激とした面源文字の輝度に対する点源文字の等可読輝度は、面源文字輝度が 30cd/m^2 の場合、透過率 100% のときに 30% 低下するのに対し、透過率が 30% になると低下率は 54% と面源文字輝度の半分以下にもなっている。これは、霧による点源文字と面源文字の可読性の低下の割合が等しくなかったことを表していると考えられる。霧による面源文字の可読性の低下に比べ、点源文字の可読性の低下が小さかったことになる。被験者が霧中では点光源 1 つ 1 つが光って見え、点源文字の方が読みやすいと内観報告したことからも考察される。本実験では、点光源間隔によって文字の大きさは変わらず、文字内に含まれる光源の数が増えるため、光源間隔が異なると平均輝度が同じでも点光源 1 つ当たりの光度は異なる。光源間隔が 5.7 の文字の点光源 1 つ当たりの光度は、平均輝度が同一の場合で間隔 1.4 の点源文字の光源光度の 16 倍である。間隔 5.7 の点源文字の平均輝度が間隔 1.4 の点源文字の平均輝度の半分であったとしても、1 つの点光源の光度は 8 倍となっている。霧によって面源文字の輪郭抽出が難

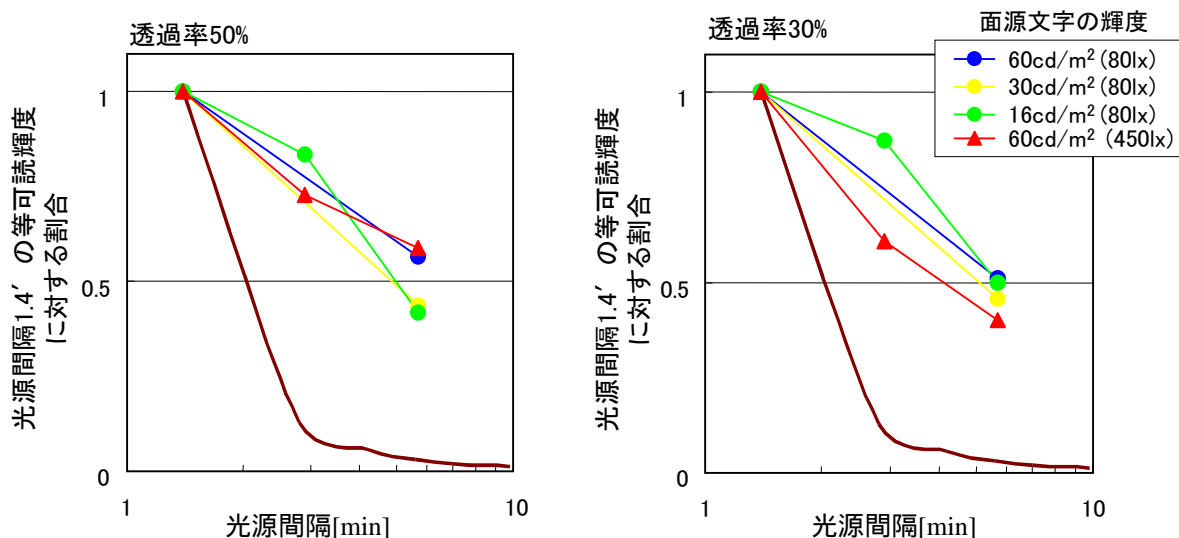


図8 光源間隔に対する等可読輝度の低下傾向

しくなる一方で、点源文字は1つ1つの点光源を抽出すればよいので、霧中においても高い可読性が示されたのであろう。

透過率が一定でも、光源間隔が広い程、等可読輝度が低下する傾向(図6)についても、この効果が寄与しているものと推測される。この傾向は、わずかであるがクリアな視程条件でも見られた。この場合は、空間的寄せ集め効果の不十分さのため光源間隔が大きい領域では、結果的に点源文字の平均輝度の定義式(1)、(2)式における文字面積を過大に見積もっていたためではないかと考察された³⁾。図8に、光源間隔1.4の等可読輝度に対する各間隔での等可読輝度の割合を示すが、ここでの間隔の増大に対する等可読輝度の低下傾向は視程クリアな場合のそれより大きいものである。

図8には、点光源の光度が一定の場合の各間隔における平均輝度を表す曲線も合わせて描かれている。測定点はこの曲線とはかけ離れており、等可読輝度が点光源一つ当たりの光度で決まるのではないことは明らかである。一方、等可読輝度が基本的に平均輝度だけで決まるのであれば、測定点は縦軸の1を通る水平線上に乗るはずであるが、実際はそれより低くなっている。光源間隔1.4までは人間の視覚系は点光源からの光を十分平均化しているので可読性は平均輝度で決まるが、間隔が広がって空間的寄せ集め効果が完全でなくなる領域では、前述の点光源を抽出する容易さが、間隔1.4と同一の平均輝度より低い平均輝度で同じ可読性が得られる要因として加わっているのではないかと考えられる。

観察面照度の変化にともなう結果(図7)も上記と同様の理由から考察される。霧箱内の照明を明るくすることは、文字とその周辺との輝度差を小さくし、文字の可読性をより困難なものとしていた。そのような状況においては、やはり、点源文字の方が読みやすいという結果が得られるといえる。

いずれにしても、従来の輝度基準をそのまま点源文字の平均輝度に適用することは、従来の面源文字と同等又はそれ以上の可読性を確保することにつながると判断される。なお、点光源による不快グレアが生じないように留意する必要がある。

5. まとめ

本研究では、霧による低視程条件下で、複数の点光源で構成される文字が均一輝度面による文字と可読性が等しくなる輝度条件などを求めた。点光源方式文字の輝度には(1)式で定義される平均輝度の概念を用いた。

その結果、霧の影響に関しては、透過率が小さくなる(霧が濃くなる)程、また、観測面照度が高くなる程、面光源方式文字に対する点光源方式文字の可読性の相対的な向上は顕著であり、低い平均輝度で面光源方式文字と同じ可読性を示した。これは、霧による文字と背景のコントラスト低下やハローのため、面光源方式文字の輪郭抽出が困難になる一方、点光源方式文字の場合は文字認識のためには一つ一つの点光源を抽出すればよいためと考えられる。

霧中における可読性に関し、従来の輝度基準をそ

のまま点光源方式文字の平均輝度に対する基準として適用しても可読性の損失はなく、従来の面光源方式文字と同等又はそれ以上の可読性を確保することにつながると言える。なお、点光源による不快グレアが生じないように留意する必要がある。

今後、VMSの有用な表示内容に関する検討等も進め、LEDを用いたプロトタイプを試作、フィールド評価等を行っていくこととしたい。

参考文献

- 1) 豊福、塚田、青木；「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) Colomb M. and Hubert R., "Legibility and contrast requirements of variable -message signs", Transportation Res. Rec. 137-141(1991)
- 3) 塚田、豊福、青木；「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)