

霧中におけるレーザ・ビームの視認性に関する研究

Visibility of Laser Beams as a Function of Fog Density

萩原 亨*、八木 麻未子**、瀬尾 卓也***

By Toru HAGIWARA, Mamiko YAGI, Takuya SEO

1. はじめに

視線誘導標は、視界条件が悪いときに道路マーキングに代わって運転者を案内する役割を担っている。霧中のような悪条件下では、反射型に加えて自発光型の視線誘導灯が使われている。満田¹⁾は、9種類の視線誘導灯の光学的諸元と霧の濃度の関係を、周囲の明るさを変えて9名の被験者に主観評価させている。設計速度に対応する制動停止視距の距離から視認に必要な光度は、霧の透過率の対数に比例して高くなることを示した。例えば、透過率40%の霧中で30m前方の視線誘導灯を視認するため、必要な最低光源光度は、夜間において9cd、昼間において120cdであった。松本²⁾は、夜間及び昼間の霧中における制動灯の見え方に関する野外実験を実施している。霧中における制動灯の視認性は霧による減衰を考慮した光源輝度の対数に比例すること、昼間は夜間に比べて約10倍輝度が高くないと同一の視認性にならないことを明らかにした。また、Kocmond, C. W. ³⁾及びHeiss, H. W. ⁴⁾は、霧中の視線誘導施設について調査された結果をまとめている。視線誘導灯が最も運転者の視認性を向上させる施設であった。特に、道路の路面に埋め込まれた視線誘導灯は濃霧においても非常に有効であったが、維持管理に大きな問題点があった。道路区画線、反射型の視線誘導標及びRRPMは、夜間の霧中において若干の効果が認められた程度であり、濃い霧中では無効果であった。

夜間の視野を確保する道路施設として道路照明

Key Words: レーザ光、視程、霧、輝度

*正員 工博、**学生員、北海道大学工学部土木工学科
(060 札幌市北区北13条西8丁目 Tel 011-706-6214)

***正員 建設省土木研究所交通研究室長
(305 つくば市大字旭1)

がある。B. S. Prichard and H. R. Blackwell⁴⁾は、霧中での道路照明について人工霧発生装置を用いて、道路に垂直向きの照明は散乱を抑えたビームの狭いものが霧中での視認性がよいことを示した。D. A. Schreuder³⁾は霧中での光の散乱特性から、霧中では十分な光を放射しかつ散乱を制限する照明装置が必要であると、運転者の視線方向と光の照射方向との角度を90度にすべきであることを示した。また、滑走路の補助照明のように路面に小さなライトが埋め込まれている方式は、視線誘導施設として非常に効果的であることを指摘している。

霧中の視線誘導は、交通安全の視点から重要である。Kocmond, C. W. ³⁾は、霧が車両の事故、走行速度、走行位置に与える影響について分析している。前方車両に追従して走行する車両が多くなり、運転者の注意力は通常より高くなっていることを示した。また、視界が悪いにもかかわらず車間距離を通常と同様にしている車両が多く、霧中では事故の被害が大きくなることを示した。運転者が前方方向の道路形状を霧中でも認識できるようにする対策が安全性に結びつくことを示した。

霧中において前方視野を確保する手法として視線誘導灯の利用が現在のところ最も実現可能な手法であろう。しかし、霧中の視線誘導灯の光は、霧の粒子により散乱し、運転者の目に届きづらい。大きな光度をもった光源を用いる必要があるが、コントラストを得るためには霧中での光の散乱を抑える必要がある。視線誘導効果としては、指向性が強く光源光度が大きい光源を短い間隔に設置したものの方が有利と言えよう。

2. 目的

本研究では、霧中での視線誘導灯の光源としてレーザ光を用いることを試みた。レーザ光は、単色性、指向性が強い、エネルギー集中度が高い、高輝度性がある光である。可視光の波長を持ったレーザ光は霧中の水粒子により前方散乱を起こし、その光路が線光源になる。また、指向性が強く、霧中でも高輝度にもかかわらずグレアを起こさず光源の位置を明確に示すことができる。これらは、従来の光源にない特徴であると同時に、前節でまとめた霧中の視線誘導施設が必要とする条件に適合するものである。そこで、実際にレーザ光を霧中で発振させ、その光路の視認性実験を行った。実験の目的は、レーザ光の光路が線光源として視認可能であることを示すと同時に、霧の濃度の上昇に伴いレーザ光路の視認性が増す現象を実験的に示すことである。また、輝度計による測定と同時に被験者 8 名による主観評価を行った。本報告では紙面の関係から詳細な結果は省くが、重要な結果については実験結果に加えた。

3. 実験方法

3. 1. 屋内実験施設

実験は、人工的に霧を発生することが可能であり、かつ照度の設定が可能な建設省土木研究者屋内標識実験施設において実施した。天井に設置したノズルから霧雨を噴出させ、送風機でこれをかくはんさせることによって屋内で人工的に霧や雨を発生させることができる。人工霧の平均粒径は、 $105(\mu\text{m})$ であった。霧の発生直後の濃度は視程約 10m であり、何も見えない状態となる。その後水粒子の沈降によって自然に霧が回復する過程で、輝度測定実験と視認性評価実験を行う。また、背景輝度を一定にするため、実験では、光を反射しない黒い布を設置した。

3. 2. レーザ発振器

図 1 に示すように、2 種類のレーザ発振器を実験で用いた。出力 24(mw)、波長 633(nm)の He-Ne レーザと、出力 2.0(mw)、波長 628~640(nm)の半導体レーザである。レーザ発振口を直接覗くこと

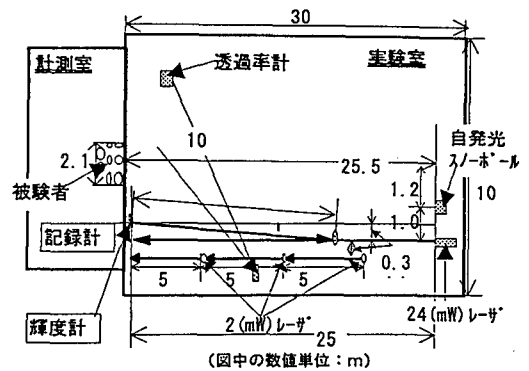


図1 レーザと測定装置の配置

は危険であるため⁸⁾、実際に道路に設置する場合は、直視できないように設置を工夫する必要がある。レーザの設置高さを1.2mとし、水平にレーザ発振器を設置した。実験で用いた24mW He-Ne レーザは計測室と実験室の仕切りから25m離れた地点に設置した。He-Ne レーザは、2枚の鏡とガスをガラス管の中に封入している。一寸した衝撃ですぐ内部が破損するので、取り扱いに慎重を要する。輸送や設置には、特に注意しなければならない。一方、2mW 半導体レーザは20m 地点から5m 間隔に3個設置した。3個のレーザ光が1本の線に連続して見えるようにした。半導体レーザは、低価格・高耐久力・低消費電力という特徴を有している。実験では、2mW レーザは、電源とコリメータ付きのセットで数万円であった。エネルギー変換効率が数十(%)と高く、消費する電力が少ない。乾電池2本程度あるいは太陽電池と小さなバッテリーの組み合わせで、十分使用することができる。

3. 3. レーザ光の輝度測定手法

レーザ光の明るさは、レーザ光の前方散乱の量と視認する角度に依存する。前方散乱の量は、霧の濃度と関連する。視認する角度は、輝度計の方向とレーザ発振方向のなす角である。そこで、輝度計と測量用のトータルステーションを一体化したものを三脚に据えて輝度と輝度計の方向を同時に測定した。測定された輝度、水平方向と上下方向の角度、透過率の各々のデータは、パソコンに

記録した。ただし、輝度計によるレーザ光の明るさは背景輝度の影響を受けることに注意する必要がある。霧が濃いときは、ほぼ全面に霧の粒子があるので一様な明るさであるといえる。ところが、単位体積当たりの水粒子の数が減少すると、輝度測定面の粒子の数が減り、背景の影響が非常に大きくなる。実験では、背景は黒布であり、測定した輝度は、 $0.01(\text{cd}/\text{m}^2)$ より低かった。

4. 実験結果

視程とレーザ光の輝度の関係を測定した結果を図2に示す。3回繰り返し行った実験から得られた24mWレーザ光の測定値の全てをプロットした結果である。霧の濃度の変化を視程で表している。透過率計で測定した透過率と視認距離から視程を求めている。図2から視程が短くなるに従ってレーザ光の輝度が上昇することが分かる。図から視程80mで輝度は $80(\text{cd}/\text{m}^2)$ 、視程30mで輝度 $100(\text{cd}/\text{m}^2)$ 前後となりピークを示す。これより視程が短くなると急激に輝度が低下していった。同時に行った被験者による主観評価では、視程30mまでは、自発光スノーポールとレーザ光の評価はほぼ同じか若干レーザ光の評価が高かった。一方、空気中に水滴粒子がない場合は、限りなく光路の輝度は $0(\text{cd}/\text{m}^2)$ であった。目視しても光路を視認することはできない。発振口が多少赤く見えるだけである。

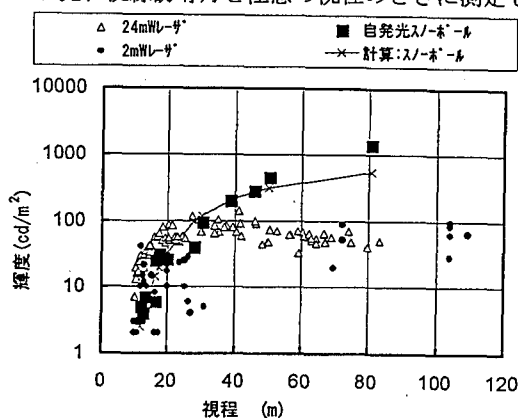
図2には、レーザ光の測定とは別に測定した視線誘導灯の輝度も示している。北海道の高速道路で自発光スノーポールとして利用されているものである。視程80mでは視線誘導灯がレーザ光より10倍明るかった。視程30mで、ほぼ同じ明るさになっていた。30mより視程が短いときは、レーザ光が明るかった。通常の光源は、霧による透過率の増大により光源の輝度は対数的に減少する。図2の実線は、視線誘導灯の光源光度と透過率から理論的に計算した輝度値を示している。測定値とほぼ同じになった。

2mW半導体レーザの明るさを測定した結果を図2に示す。図1に示すように5m間隔3カ所に設置したレーザ全てのデータを示した。24mWレーザに比

較して、最大輝度はほぼ同じ結果を示した。しかし、視程40mぐらいから急激に輝度が低下していることが読みとれる。

輝度計をレーザ光路に沿って回転し、光路の輝度を測定した結果を、図3に示す。視程14m、25m、50mのときの測定結果である。横軸は、24mWレーザ発振器から輝度測定光路地点までの距離である。視程にかかわらず、レーザ光路全体がほぼ一定の輝度を示すと言えた。視程50mのときには、光と全体がほぼ $100(\text{cd}/\text{m}^2)$ の均質な明るさを示した。また、目視であるが、レーザ光路は非常にクリアなラインとして視認できた。高光度の視線誘導灯に見られるハローは僅かであった。

図4は、実験室内照度200(lx)と2000(lx)でレーザ光、視線誘導灯を任意の視程のときに測定し



注：視程(m) = 測定距離 $\times \ln(0.05) / \ln(\text{透過率})$

図2 レーザ光の測定輝度と視程（霧の濃度）

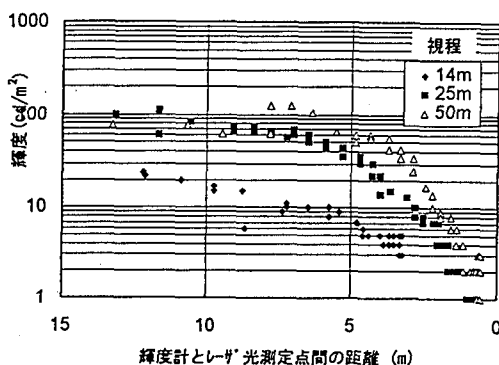


図3 24mWレーザ光路の輝度測定

結果である。また、連続的に測定した背景輝度の結果も合わせて示した。照明光の散乱により霧中の背景輝度が非常に高い値となること、そして視程が低下すると背景輝度が比例して増すことが分かる。ちなみに、照度 200 (lx) のときには、11 (cd/m²) から 20 (cd/m²)、2000 (lx) で 40 (cd/m²) から 200 (cd/m²) まで上昇した。2000 (lx) のときには、全ての視程においてレーザ光のコントラストは非常に小さくなっていた。しかし、人間は明るいところではより小さなコントラストで暗いところでの高いコントラストのものと同様に物体の明るさを感じることは知られている。本報告では触れないが、同時に行った被験者の主観による評価では、2000 (lx) でも暗いときより若干低い程度の評価結果を得ており、十分視認可能と言えた。

5. 結論とまとめ

霧中におけるレーザ光の輝度を測定した結果、従来の視線誘導灯とは異なる特徴を示せた。霧の濃度が高くなっても測定輝度が低下しない点、連続した線光源として視認できる点である。一方、周囲が非常に明るい時や、レーザ光との視認角度が大きい時に、レーザ光の視認性はあまり期待できないことが分かった。

視程が 50m 前後の状況で線光源として視認できるレーザ光の視線誘導効果は非常に大きい。道路空間で視線誘導灯の 1 つの点が見えても 1 次元的な情報であり、道路の進行方向を知るためには次の点が見える必要がある。レーザ光は、1 個の光源で 2 次元的な道路方向を運転者に知られることができる。「視線誘導標の見え方試験報告書」⁷⁾ においても、単体設置と連続設置を比較した場合、連続設置の方の評価がやや上回るとされている。線光源としての有用性についての議論は、実験に参加した被験者の実験後の感想にも記されていた。レーザ光は、夜間の透過率が低い状況で利用を想定したとき、グレアを起こさず高いコントラストによる 2 次元的な視線誘導が可能であり、視界不良時の視線誘導灯として今後の応用が期待できる。

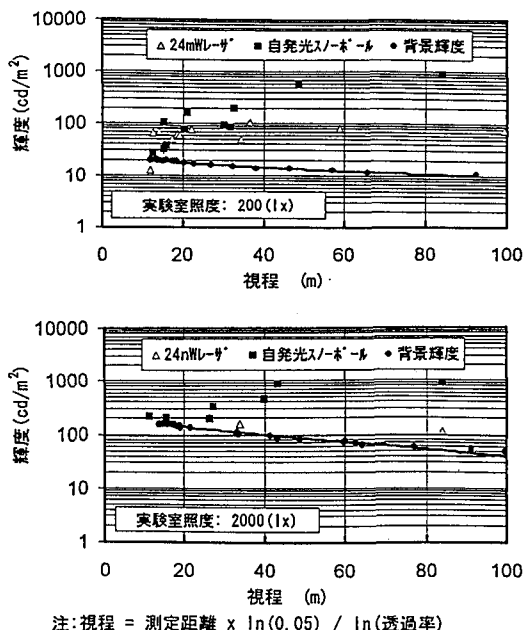


図4 実験室照度とレーザ光、自発光スノーボール及び背景の輝度

参考文献

- 1) 満田ら、霧中用視線誘導灯の視認性、土木技術資料 27-12、1985
- 2) 松本ら、霧中における後部灯火の視認性について、交通公害研究所報告第3号、1975
- 3) 小原、霧発生下における高速道路の照明、高速道路と自動車、Vol. 33, No. 10, 1990
- 4) Prishard B. S., et. al., Optical Properties of the Atmosphere and Highway Lighting in Fog, Highway Research Board Bulletin 191, 1958
- 5) Kocmond C. W., et. al., Highway Fog, NCHRP Report 95, 1970
- 6) Heiss H. W., Highway Fog - Visibility Measures and Guidance Systems-, NCHRP Report, 1976
- 7) 視線誘導標設置基準・同解説、(社)日本道路協会、1984
- 8) レーザ製品の放射安全基準、日本規格協会、JIS C 6802, 1988