

■反射材の歴史

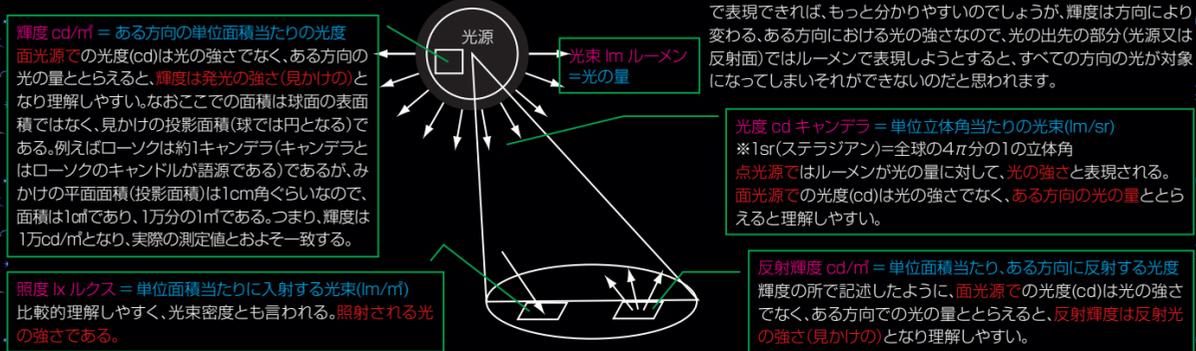
反射材は大きく分けて硬質のリフレクタと軟質の反射シートとがあります。原理的には再帰性反射(光源の方向に反射されること)を利用したものです。車のライトや写真機のフラッシュライトにネコなどの夜光性の動物の目が光る理由は、人間の目と違い網膜の裏側にタペタムと呼ばれる鏡のような組織があり、これに光を反射させ網膜に光を2度通し、少ない光で良く見えるようにしているからです。1930年代初期にこの原理(透明の球体+反射鏡)を利用して、ビー玉のようなものを埋め込んだ「キャッチ・アイ」と呼ばれた硬質のリフレクタが反射材の始まりで、道路周りに使用されました(その後リフレクタはプリズムを利用したものが主流になっております)。1930年代終わり頃に、米国3M社が極めて細かい無数のビーズをシート上に貼り付けた露出レンズタイプの反射シートを開発しました。その後1940年代から、その露出したビーズにプラスチックをコーティングして平らにし、耐候性を上げた封入レンズタイプが広まり始めました。さらにその後、露出レンズタイプの反射率の高さはビーズと空気が直接接していることに由来しますが、その利点を損なわないようにプラスチック膜とビーズとの間に空気層を取り入れたカプセルレンズタイプへと進化したきました。そして1960年代に、ビーズではなくリフレクタで利用されていた極めて反射率の高いプリズム方式を取り入れたマイクロプリズムタイプのシートが開発され、現在反射材の主流になりつつあります。なお日本で反射材が生産され始めたのは戦後になってからです。

反射材は車の前照灯の光を反射して、駐車している車や歩行者、ガードレール・分離帯などの存在を遠距離からドライバーに知らせることができ、追突事故を未然に防ぐのに利用されたり、遠くから文字やマークが判別できるように標識や看板などにも利用されています。電灯がついていれば一番よいのですが、コスト的な問題と環境的な問題でむやみに増やすことはできません。そこで車のライトを利用して自分では電気を必要としない反射材は、極めて省資源で手軽な保安装置といえます。なお近年は機械のレーザーセンサー部分や、ヒートアイランド対策として太陽光を反射させるのにも利用されています。

ここからの内容は筆者の考えや推測も含まれておりますので、学術的な間違いなどあればご指摘願います。また反射材に関するご質問も同時に下記メールアドレスにて受け付けております。

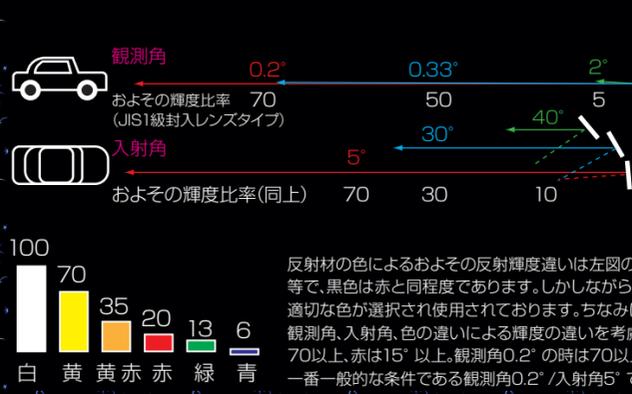
■光にまつわる用語と単位

光の強さや明るさを理解するのは一見簡単そうに思えますが、しっかり理解しようとすると非常に複雑で分りにくくなってきます。その理由は、1次元的な点光源と2次元的な面光源。さらには放射状に光が発散するという3次元的な概念が混在しているところにあると思います。実際点光源では、ルーメンとカンデラはもともとセンチとインチのように1ルーメンは4πカンデラと変換ができる単位でほぼ同じ意味を持っておりませんが、これを面光源で使用する場合、概念が変わりこのような変換ができなくなってきます。しかも入射光の照度ではルーメン(ルクス)を用い、反射・発光の輝度においてはカンデラを用いなくてはならなくなってきます。もしどちらもルーメン/ルクスで表現できれば、もっと分かりやすいのですが、輝度は方向により変わる、ある方向における光の強さなので、光の出先の部分(光源又は反射面)ではルーメンで表現しようとする、すべての方向の光が対象になってしまいそれができないのだと思われます。



■反射性能(反射輝度)

上記の図では反射輝度の単位は[cd/m²]となっておりますが、反射材の反射性能を表すのに使用される反射輝度はルクスを加えた[cd/lux/m²]の単位で表現されます。「キャンドル・ルクス・平米」や「キャンドル・パワー」又は「cp1」とも言われたりもします。ただでさえ上の説明のように光の単位はとらえにくいのですが、この反射輝度の考え方自体も分かりづらく余計混乱を招く場合が多いようです。下記でも説明していますがその理由は2つあり、1つは[cd/lux/m²]のように通常はkg/m²やm/hのようにスラッシュ(毎)は1つしか入っていないのに対し2つ入っている点と、反射光には指向性があり通常の拡散光と違い光の逆二乗則は適用できないはずですが、その法則が反射輝度の算出式に使用されている点にあると思います。詳しくは下記の図を使い説明致します。



■視認性

視認距離(ドライバーが対象の存在に気づける距離)



夜間において白っぽい服装をしていても、下向きの車のライトでは約38m先からしかドライバーは気づけません。車の停止距離は法定速度の60km/hでは約44m必要ですが、これは舗装された乾燥状態のアスファルトであり、車のタイヤの状態やブレーキの状態も正常で、さらにドライバーも注意して運転している場合であり、そうでない場合は2倍の約88mの停止距離が必要になる場合もあります。また法定速度が60kmであっても80km近くまで速度を出している車も否定できません。従いまして、余裕をもって100mの視認距離は夜間必要となり、この場合反射材の力が必要不可欠となってまいります。反射材の使用による視認距離は次の式から算出され、右上のグラフのような曲線を描きます。視認距離[m] = 50m × (製品の反射光度[mcd/lx] ÷ 90[mcd/lx])²の平方根

※反射光度[mcd/lx]は反射輝度[cd/lx/m²]に反射材の面積(m²)を掛けたものです。なおmcdですが、反射輝度はm当たりの値なので実際に使用される反射タグやテープなどの反射材はそれよりもずっと小さいため、面積で掛けた場合少数点以下の小さい値になってしまうので1000倍したミリカンデラで表されます。この式は、反射光度が90[mcd/lx]の時50m先から確認にできた経験値をもとに、光の逆二乗則から、視認距離(車と反射材との距離)の倍数の2乗に反比例して反射材に当たる車のライト(照度)が弱まることを想定して平方根した推測式であります。また反射材による反射光は反射性能の所で論じたように、光の逆二乗則にそぐわず光が弱くならないことを前提としております。実際、実験値もこのグラフにおおよそマッチしており、参考値としては使用できる視認距離の算出式と言えます。なお、理論上は反射光度が上がるれば視認距離はほどまでも伸びますが、実験的には300mくらいが上限のようです。

Q. 反射材は結局どれくらい光るの?

上記のように計算式やグラフで視認性を説明してきましたが、反射材が実際にどれくらい光るものかイメージするのは難しいと思います。それではこういうお話しはかかでしょうか? 反射材でないものは無反射材材と言われたりもしますが、反射しないということではなく、拡散状に反射することです。無反射材材の中でドライバーの身近であり暗闇でもよく見えるものに、白い壁や歩行者の着ているTシャツ、又は白っぽい衣服などがあります。それらの反射率(光が吸収されないで戻る割合)は約0.7(70%)です。完全拡散面の反射において当てはまる公式に反射輝度[cd/m²] = 反射率 × 照度[lx] / π というものがあります。反射材の反射性能を表す反射輝度は、1ルクスの光を当てた時の輝度なので、その公式の照度に1と反射率の0.7を代入すると0.7 × 1 / 3.14 ≈ 0.22[cd/lx/m²]となります。思い出しで頂きたいのが、反射材の反射輝度[cd/lx/m²]は上質な封入レンズタイプで100、超高輝度で1000、リフレクタでは2000以上となり、同じ面積であればそれぞれ、白い壁やTシャツの500倍、5千倍、1万倍以上明るいということになります。このように考えますと、反射材がどれだけよく光るかイメージが湧いてくるのではないのでしょうか?

Q. 遠くの方が反射材がクッキリするのはなぜ?

近距離では反射材も壁のような無反射材材も明るさにおいて大差がないように見えるのに対して、遠距離になればなるほど、反射材だけが浮き出るようになるクッキリしてくる経験をされたことはないでしょうか? これはどのように説明できるのでしょうか。道路脇の駐車禁止の丸い標識などにおいては、遠ければ遠いほど入射角も観測角も狭まるので、反射輝度が高くなる影響も強いと思いますが、図のような比較的真正面の状態においてもこの現象は起こります。図はトラックの荷台の周りを黄色い反射材でなぞるように貼っている例ですが、左側の近くのトラックでは、白い荷台部分と黄色い反射材との区別があまりつきません。しかし距離が離れた右側のトラックでは、白い荷台部分は暗くなっているのに対して、黄色い反射材の光り具合はあまり弱まっておらず、相対的に反射材だけがクッキリ浮き出ているようになります。これもまた反射性能と視認性のところで説明しました「反射材による反射光は指向性があり拡散しない」という性質によるものと考えられます。通常無反射材材の反射輝度[cd/m²]は当たる照度が一定ならば見る距離が離れても、届く光の強さ(照度)は減りますが、その分発光面の見かけの面積も同じように減るので変わりません。しかしながら反射材の反射輝度[cd/m²]は、距離が離れると届く光の強さ(照度)はあまり変わらないのに対して、発光面の見かけの面積は減るので、高くなると思われます。図のような場合車のライトはもちろん車についているので、距離が離れると反射面にあたる照度も減り、無反射材材部分の反射輝度は弱まり暗くなります。一方反射材部分は、当たる照度は減りますが反射輝度は同じくらいを保つと考えられます。つまりこの現象は、相対的に無反射材材部分と反射材部分の反射輝度の差が広がることにより、起こるものと考えられます。

Q. 究極の反射材は?

光りすぎても眩しすぎても良くないということもありますが、その議論はひとまず脇に置きます。究極の反射材とは、どの入射角においても同様に、鏡のように反射率のロスが少なく再帰的に反射し、極限の反射輝度を持っている素材材だと思われます。では理論的にはどれくらいが極限の反射輝度なのでしょうか? 現在反射材で一番光るのが硬質プリズム型であるリフレクタで、2000[cd/lx/m²]以上の反射輝度を持っております。反射性能の所で反射輝度 $B[cd/lux/m^2] = (照度 Er[lx] \cdot 距離 d^2[m^2]) / (照度 Es[lx] \cdot 面積 A[m^2])$ という公式を説明しましたが、この式は相対的な反射輝度で絶対的な値ではないことも話しました。従いまして、これと同条件での究極的な反射輝度と捉えて頂きたいのですが、それは、JIS規格の測定法の条件の15mという距離と試片反射材面積0.03375m²を代入し、光が吸収も広がらせず戻ってくる場合、照度 $Er[lx] = 照度 Es[lx]$ となり、結果、反射輝度約6667[cd/lx/m²]という値が算出されます。これはあまりに究極的な数値ですから、現在の2000[cd/lx/m²]以上というリフレクタは、広角性は除いて反射輝度の面としては十分理想的なところまでできているのではないのでしょうか?

Q. 反射材の視認度を高めるには?

- 車からの反射材の視認度を高める方法はいくつかあります。
- ① 反射輝度の高い反射材を身につける。
 - ② 面積的に大きい反射材を身につけて反射光度を上げる。
 - ③ 車のライトは通常下向きなので、光の当たりやすい下半身でかつ動きのあるひざ下が望ましい。(ヘルメットに付けるよりも、靴に付ける方が3倍も気づきやすいというデータもあります)
 - ④ 反射材は広角性に弱いので、車のライトは常に任意の方向から当たるので、体の全方位へ反射材をつけるのが望ましい。
 - ⑤ 反射材にも耐候性があり、時間とともに反射輝度も落ちてしまいます。よって古くなってきたら新しいものに取り換えることも大事です。
- これらを総合すると、足首用の反射バンド、ぐるっと反射材が付いている靴、もしくは上半身だけが大きい反射材が胴周りに付いているようなジャケット、のような物が特に効果的といえます。

Q. 交通事故対策に反射材はどれだけ効果的か?

反射材と交通事故の関係は大規模かつ体系的に調査・分析したデータはあまりありませんが、中でも顕著に効果が現れたものをご紹介します。現在のように自転車のベダルや後部にリフレクタが義務付けられていない頃のかなり古い調査データですが、宮崎県のある警察署管内の昭和42年1月から6月にかけての自転車事故数は63件でそのうち夜間が30件でした。その後道路交通法施工細則を変更し大規模な啓発活動を行い自転車への反射テープの普及率が84%まで上がりました。その後再度昭和45年1月から6月にかけて調査した結果、自転車事故数は交通事情などにより114件の1.8倍ほどになったのに対して、夜間の事故数は11件でありました。本来は全体が1.8倍なので、夜間も1.8倍の54件程になるはずですが11件だったということで、反射材効果により夜間の自転車事故は、約1/5に急激に減少したと断言することができます。

【参考文献】

- 「諸外国における反射材」財団法人 全日本交通安全協会 1983年
- 「JIS 保安用反射シート及びテープ JIS Z 9117-1984」日本規格協会 / 「JIS 再帰性反射材 JIS Z 9117-2011」日本規格協会
- 「もっともって反射材について、知って下さい反射材の種類と性能基準の指定方法」全国反射材普及促進協議会
- 「夜間(昼外)における視認実験報告書」全国反射材普及促進協議会 2007年