

再帰同色反射塗料「ビームライトエース」の塗膜構造と反射メカニズム

Coating System and Reflection Mechanism
of Same Color Retroreflector for
Reflective Paint "BEAMLITE ACE"

シンロイヒ株式会社 技術部
SINLOIHI Co.Ltd.
Technical Division



石川 仁史
Satoshi ISHIKAWA



宮川 有司
Yuji MIYAGAWA

1. はじめに

蛍光顔料を主に製造販売している当社(シンロイヒ(株))では、蛍光顔料の視認性を生かした蛍光塗料を販売しており、コンビナートや化学工場のパイプ、クレーン車のフック、ヘリサインおよびヘリポート、消防車などに採用され、社会の安全・防災に貢献している。

また、蛍光塗料以外にも夜間の視認性を向上させる材料として、反射塗料「ビームライト」シリーズを販売している。

夜間は昼間と比べて対象物に対する視認性が劣り、交通事故などが起こりやすい。そのため、一般的に照明やライト標識の設置・施工を行い、夜間の視認性を向上させ、交通事故を未然に防いでいる。一方、反射塗料は、電力を必要とせず視認性を向上させるため、省電力の観点から環境負荷低減となり、塗装するだけで様々な基材や複雑な形状にも対応できる。特に再帰反射塗料で施行した塗膜は、光源方向に反射光を戻す特性を持つため、光源方向から離れれば反射光が戻って来ないので、照明と比較して誤認防止や景観保護となる。このような特長から、当社の「ビームライト」シリーズは、高速道路などのカーブのコンクリート高欄やガードレール、アンダーパスの冠水標示および橋脚など多くの場所に採用実績がある(図1)。

本報では、従来品を上回る再帰反射輝度、新機能の

同色反射、高い耐候性を備えた「ビームライトエース」の設計思想、塗膜構造、反射メカニズムについて解説する。



図1 ビームライト施工実績例

2. 再帰反射について

2.1 光の反射の種類

自然界での主な光の反射は、(i)乱反射(拡散反射)、(ii)鏡面反射(正反射)、(iii)再帰反射の3種類に分類される(図2)。

(i)乱反射(拡散反射)は、自然界では一般的な反

射であり、表面が凹凸面での光の反射で、入射した光が様々な角度で反射するため、光度は入射光より相対的に減衰する。

(ii) 鏡面反射(正反射)は、鏡など表面が平坦な面での光の反射で、入射光は一方向に反射される(入射角と反射角は同じ角度となる)。反射光度は、反射方向が限定されるため、乱反射よりも強い。

(iii) 再帰反射は、光源からの入射光がそのまま光源に向かって反射するもので、鏡面反射よりも反射光度が高いのが特長。自然界では、猫の目に同様の現象が観られる。

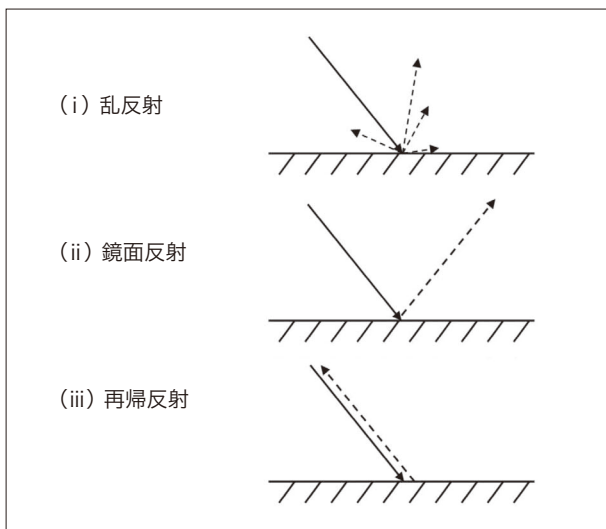


図2 光の反射の種類と概念

2.2 再帰反射のメカニズム

一般に再帰反射機能を付与するためには、屈折率を調整した球形のガラスビーズを利用した「ガラスビーズ方式」と、垂直の直角三角形の鏡面からなる三面体を利用した「プリズム方式」がある。

本報では、「ガラスビーズ方式」を利用した再帰反射塗料について報告する。

ガラスビーズによる再帰反射機構を図3に示す。

光がガラスビーズに入射した際に屈折し、球面上の一点で焦点を結び、背面の反射層で反射し、再びガラスビーズ表面で屈折して、入射光と平行な角度で出ていく。

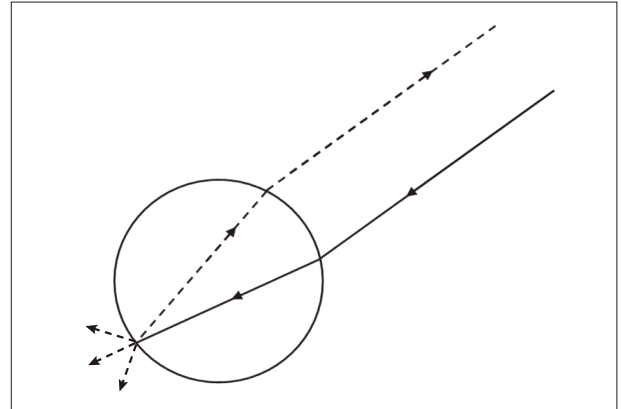


図3 ガラスビーズでの光の再帰反射機構

2.3 再帰反射材の性能評価試験

反射性能は、再帰反射係数(cd/lux/m^2 :カンデラ/ルクス/ m^2)としてJIS Z 9117に基づき測定した¹⁾(図4)。

試験片表面中心と受光基準面との距離を15m以上に調整し、観測角(光源と受光部の角度)を 0.2° 、 0.33° および 2.0° とし、入射角(光源と試験片の法線の角度)は 5° 、 30° および 40° で測定する。

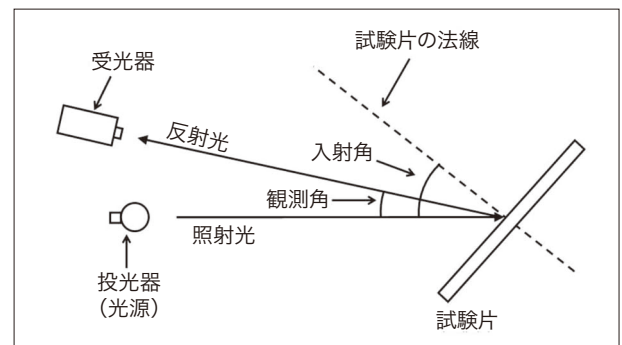


図4 JIS Z 9117 で定める反射性能の測定方法

3. 「ガラスビーズ方式」再帰反射塗料

ガラスビーズ方式での再帰反射性は、ガラスビーズの配列が大きく影響する。再帰反射シートなど工業ラインで塗布管理を行う場合は、ガラスビーズの均等配列の調整はしやすいが、塗料を刷毛などで現地施行する場合は、ガラスビーズを均一に配列することは非常に困難

であり、再帰反射性能は、塗料の塗布量や塗装方法、下塗りの選定および使用顔料など様々な因子によって影響を受ける。

3.1 ガラスビーズ

「ガラスビーズ方式」再帰反射塗料では、塗膜にする際、ガラスビーズをいかに均一に、かつムラなく塗装できるかが最も重要な要因となる。当然、ガラスビーズ量が少なければ、再帰反射輝度は低くなるが、逆に、ガラスビーズが密に存在し、不均一に何重にも重なり合ってしまうと、反射輝度はガラスビーズ間の反射によって低下してしまう(図5)。

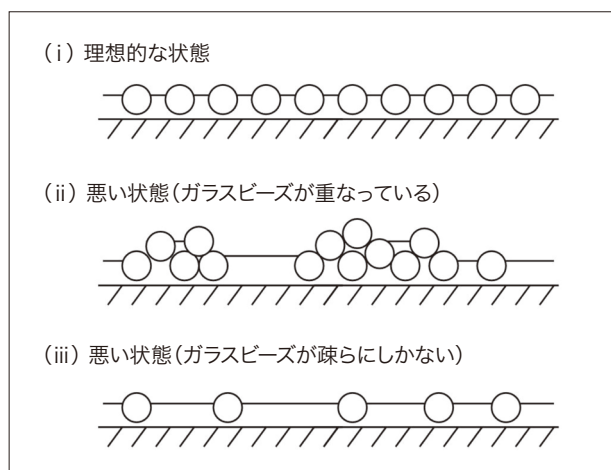


図5 ガラスビーズの分布例

ガラスビーズ方式の再帰反射塗料には、「オープンタイプ」と「クローズドタイプ」が有る(図6)。

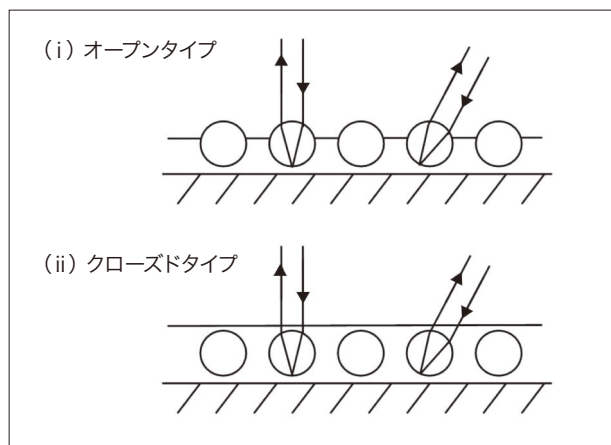


図6 ガラスビーズの種類

前者は、ガラスビーズを塗膜面から露出させることで再帰反射が得られ、後者は、ガラスビーズ層の上に薄い樹脂層(カラークリヤー層)で覆われている。クローズドタイプはガラスビーズを樹脂で覆うため、オープンタイプに比べ耐候性や耐汚染性が良いが、表面の樹脂膜厚が厚くなりすぎると、再帰反射輝度が低下するので、塗装時の塗布量管理が必要である。

また、ガラスビーズの大きさも再帰反射輝度に影響を及ぼす。ガラスビーズは大きければ大きい程、光が入射する面積が多くなるため、再帰反射輝度は高くなり、逆に小さくなる程、再帰反射輝度は低下する。そのため、再帰反射性能を向上させるためにはなるべく大きなガラスビーズを適用するのが望ましい。しかし、大きさに比例して塗装作業性が低下し、特に刷毛塗りの場合、ガラスビーズが大きすぎると刷毛がガラスビーズを引きずるため、均一にガラスビーズを塗装することが困難となる。また、吹きつけ塗装の場合、ガラスビーズを均一に分散することは容易だが、スプレーガンの口径以上のガラスビーズは適用できない。

3.2 下塗り

再帰反射輝度は下塗りの色相にも影響される。これは、ガラスビーズに入射した光が球面上で反射する際に一部が下塗りに拡散・吸収されるからである(図3)。

各色下塗りの上に、クリヤータイプの再帰反射塗料「ビームライト#2000²⁾」を塗装した場合の再帰反射係数を、表1に示す。下塗りの視感反射率Yの最も高い白が最大で、視感反射率Yの低い緑や青では再帰反射係数が低下していることから、再帰反射輝度は下塗りの視感反射率Yに影響していることがわかる。

表1 下地の反射率と再帰反射係数

下地色	視感反射率 Y (%)	反射輝度 (cd/lux/m ²)	
		0.2/5°	0.2/30°
白	83.94	2	2
黄	52.85	2	0
赤	5.80	0	0
緑	1.83	0	0
青	1.73	0	0

3.3 顔料

特にクローズドタイプの塗膜の再帰反射輝度は、使用顔料の透明性も重要な因子となる。前述のように再帰反射性能は、いかに入射光をロスさせずに再帰反射光とするかであり、使用顔料の透明性、添加量および形成されるカラークリヤー層の膜厚が大きく影響する。

4. ビームライトエースの開発

本報で紹介する「ビームライトエース」は、従来の反射塗料とは異なる新タイプの反射塗料である。

【特長】

- ①「再帰反射輝度の向上」
- ②「塗料色と反射色が同じ」
- ③「耐候性10年」

従来の反射塗料と比べ、下塗りシルバー層を入れることで輝度を飛躍的にアップさせ、さらに反射光の色を塗膜色と同一とすることで視認性を向上させた。以下に、それぞれの特長について解説する。

4.1 再帰反射輝度の向上

再帰反射輝度の向上には、「ガラスビーズ」「下塗り」「顔料」が重要な要因となる。

下塗りとして反射率の高い白色を用いた場合、再帰反射輝度が最大となることは前述したとおりであるが、反射光は、乱反射により拡散され、光度は減衰してしまう。

そこで、効率的に光を反射させるため、下塗りとして鏡面反射塗膜を構築する「下塗りシルバー」を開発した。その結果、再帰反射+鏡面反射の複合効果によって、従来の白色塗膜と比較しても、飛躍的に再帰反射輝度を向上させることに成功した。

4.2 新規設計思想による塗装工程の最適化

使用する顔料およびガラスビーズの配列について検討を行った。

前述のように、再帰反射塗料ではガラスビーズをいかに

に均一かつ適切な量を塗装・塗膜化するかがポイントとなる。

従来の再帰反射塗料は、規定の塗料色を出すために隠ぺい力の高い着色顔料を使用していた。それゆえ、反射光のロス無くし十分な性能を出すためには、厚膜塗装を行うことができなかった。そのため再帰反射輝度に影響しないように塗布量(180g/m²/回)を制限する必要があり、緻密で均一なガラスビーズ層の形成が難しかった。

今回開発した「ビームライトエース」の塗膜構造は、新規下塗塗料の開発によって、塗布量を増やしても(200g/m²/回:3回塗り)再帰反射輝度を保つことに成功した。また、膜厚が厚くなることで、ガラスビーズの配列も緻密で均一となるように最適化することができ(図7)、さらなる再帰反射率が向上した。

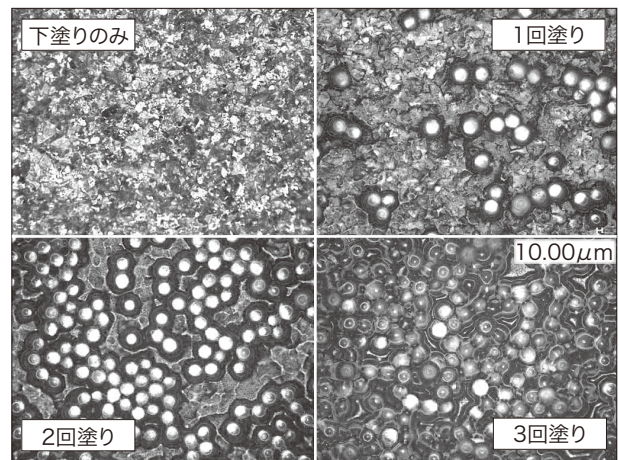


図7 塗装回数0～3の顕微鏡写真
(×300:ビーズ粒径約75μm)

その結果、透明性の高い顔料を用いてもユーザーが要求する色を、高輝度で提供することが可能となった。

このように、「ビームライトエース」は鏡面反射性の高い新規下塗塗料の開発、透明性の高い顔料およびガラスビーズ配列の最適化によって、再帰反射率の向上を達成することができた。

4.3 同色反射機能

さらに、「ビームライトエース」塗膜に同色反射という新たな機能を付与した。

従来の再帰反射塗料は塗膜の色相に関わらず、再帰反射色は白色であった。これは前述したとおり、従来の塗膜は、透明性の低い(隠ぺい力の高い)顔料を使用しているにもかかわらず、再帰反射率を低下させないために塗布量を少なくしていた。そのため、ガラスビーズ周辺の顔料がまばらになっており、顔料による可視光の吸収が少なく、照射光がそのまま反射し、白色に見えていた。

一方、今回開発した「ビームライトエース」は、厚膜化することで透明性は高いが、顔料をガラスビーズ周辺により多く配置することができ、有彩色の再帰反射光を得ることに成功した。

この同色再帰反射機能によって、他の再帰反射塗料とは異なり、高い意匠性の付与が可能となった。従来品では赤白の縞模様を描いたとしても、夜間に反射した際には全面白色となりデザインを認識することはできなかった。しかし、「ビームライトエース」ならば、昼間のデザインと夜間などの再帰反射光での視認に差が無く、より一層の注意喚起などの効果が大幅に増大することができる(図8)。

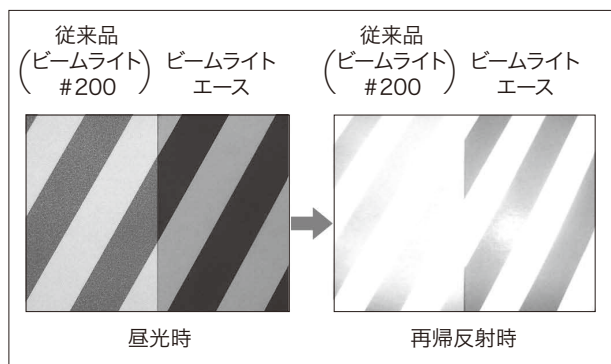


図8 再帰反射の色相比較

4.4 「ビームライトエース」の仕様と性能

「ビームライトエース」で使用している着色顔料は透明性だけでなく、耐候性にも優れており、屋外暴露試験でも従来品に比べて5倍以上の耐候性を有している。

図9に黄色の「ビームライトエース」とアクリル樹脂系の「ビームライト#200」の屋外暴露による色差 ΔE^* の経時変化を示す。

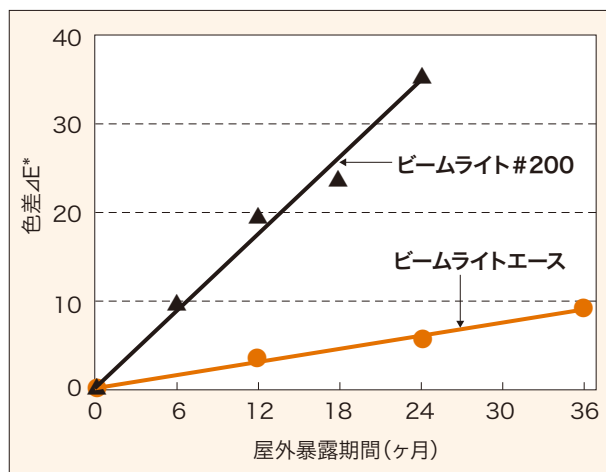


図9 再帰反射塗料(黄色)の屋外暴露による耐候性比較

表2に「ビームライトエース」各色の再帰反射係数を示す。従来の再帰反射塗料より再帰反射輝度が優れており、特に白色では、5倍の再帰反射輝度を有している。また、今まで再帰反射輝度が低いとされていた濃色の緑、青でも実用上十分な再帰反射輝度となっている。

表2 ビームライトエースの再帰反射係数

塗料	色相	反射輝度(cd/lux/m ²)	
		0.2/5°	0.2/30°
ビームライトエース	白	10	4
	黄	6	2
	赤	2	2
	緑	2	2
	青	2	0
ビームライト#2000	白	2	2
	黄	2	0
	赤	0	0
	緑	0	0
	青	0	0

表3に「ビームライトエース」の塗料性状、表4に塗装仕様を示す。

被塗物は、各種プライマーを用いることで、コンクリート、鉄部、アルミニウムなど多様な素材に適応可能である。

また、塗装回数は増加するが、塗装インターバルを1/8と大幅に短縮させることで、従来品より塗装日数の短縮が可能となった。

表3 ビームライトエースの塗料性状

項目	新規開発品							従来品					
	ビームライトエース下塗			ビームライトエース				ビームライト#200			ビームライト#200クリアー		
樹脂系	アクリルウレタン樹脂							非黄変形アクリルウレタン樹脂					
容 姿	二液性							二液性					
色 相	シルバー			ホワイト、イエロー、レッド、グリーン、ブルー				ホワイト、イエロー、レッド、グリーン、ブルー			クリアー		
塗装方法	刷毛・ローラー							刷毛・ローラー、吹きつけ					
混合比(重量比)	主剤:硬化剤 = 95:5			主剤:硬化剤 = 97:3				主剤:硬化剤 = 90:10			主剤:硬化剤 = 67:33		
可使時間	8時間			8時間				6時間			6時間		
希釈剤	ビームライトエースシンナー							ビームライト#200シンナー					
希釈率(%)	0~10			27~30				10~20			0~10		
標準使用量	0.14~0.15kg/m ²			0.19~0.20kg/m ²				0.18~0.20kg/m ²			0.11~0.13kg/m ²		
塗装回数	1回			3回				1回			1回		
塗装間隔	温 度	5℃	20℃	30℃	5℃	20℃	30℃	5℃	20℃	30℃	5℃	20℃	30℃
	最 小	3時間	2時間	1.5時間	3時間	2時間	1.5時間	24時間	16時間	12時間	24時間	16時間	12時間
	最 大	7日	7日	7日	7日	7日	7日	7日	3日	3日	7日	3日	3日

表4 塗装仕様例(素地:コンクリート)

工 程	商品名	塗回数	色 相	混合比率 (重量比)	希釈率(%) (重量比)	塗装方法	標準使用量 (kg/m ² /回)	塗装間隔 (20℃)	
1	素地調整	手動・電動工具を用いてケレン後、ゴミ・水分などをウエス・シンナーなどで除去し、乾燥した清浄な面とする。							
2	シーラー	マイティーシーラーS	1	白	—	50~100	刷毛・ローラー	0.09~0.12	2時間以上 7日以内
3	下塗り	ビームライトエース 刷毛・ローラー下塗	1	シルバー	主 剤:95 硬化剤: 5	0~10	刷毛・ローラー	0.14~0.15	2時間以上 7日以内
4	上塗り	ビームライトエース 刷毛・ローラー上塗	3	各色	主 剤:97 硬化剤: 3	27~30	刷毛・ローラー	0.19~0.20	2時間以上 7日以内

5. まとめ

再帰反射塗料「ビームライトエース」の特長は、以下の通りである。

◎再帰反射輝度の向上

従来の再帰反射塗料(当社商品 ビームライトシリーズ)と比べて、倍以上の再帰反射輝度を有している。

◎塗料色と再帰反射色が同じ

従来の再帰反射塗料既存色の塗装では、再帰反射光は白っぽく光っていたが、「ビームライトエース」は再帰反射光が塗装面の色と同じ色に光り、再帰反射するだけでなく、色としての視認性効果も向上している。

◎耐候性10年

従来の再帰反射塗料は耐候性1～2年であったが、原料面の変更などにより約10年の耐候性を得ることができた。

「ビームライトエース」の塗膜構造を図10に示す。緻密で均一に塗装されたガラスビーズと、今回開発した下塗りシルバー層によって、光源からの光の損失を大幅に低減し、再帰反射率を倍以上向上させた。

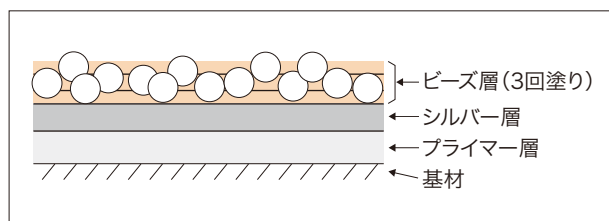


図10 ビームライトエースの塗装断面図

6. 終わりに

高輝度反射・同色反射・耐候性の向上により、再帰反射シートの性能に大きく迫ることが可能となった。「ビームライトエース」は、シートにはない複雑な立体への使用や多様な素材への適応といった塗料の強みを活かすことで、さらなる安全・防災に対して社会貢献できると確信している。

参考文献

- 1) JIS Z 9117 再帰性反射材 8.3 反射性能の測定
- 2) シンロイヒ株式会社「ビームライトシリーズ」カタログ
- 3) 化学工業日報(2015年1月14日)