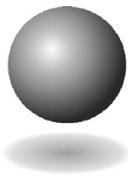


12回連載 技術エッセイ 第10話 球レンズによる再帰反射



球体のはなし



柴田順二（芝浦工業大学名誉教授）

● **マイクロ球レンズ** レーザや光ファイバなどを絡めての光通信技術が急速な進歩、普及を遂げている昨今、オプトエレクトロニクスの果たす役割はますます高まっている。このような情報化社会の中でマイクロ球レンズはファイバカップリング、集光レンズ、コリメータ、マイクロ光スイッチなどに欠くことのできない光学素子として広く認識されている。

ところで、球レンズは再帰反射という魅力あるもう1つの可能性を秘めている。本稿ではこの話題を取り上げることとする。

● **再帰反射ミラー** 再帰性反射とは、入射光を入光方向へ正確に出光（反射）させる光学特性のことである。静的再帰反射ミラーの開発途上においてこれまで、コーナーキューブプリズム型と球面レンズ型が考案され、中でも前者はレーザ測量などに見られるようにポピュラーな再帰反射原理となっている。路肩や分離帯に設置されている視線誘導標識や自転車のリフレクタに使われている反射部材、自動認識コード用のリフレクティブカラーコードなどもその応用例である。ただし、視覚（入光可能な角度範囲）が狭く、反射体構造の設計・製作にも多くの技術難題が残されている。そこで登場したのが、再帰反射ガラス球である。

● **ガラス球の再帰反射原理** マイクロガラス球に入射された光は2回の屈折と1回の反射を

経た後、入光方向に比較的近い角度で出光する。これが水滴の場合には、入射光に対して約 $40\sim 42^\circ$ の偏り角度で出光するが、これが大気中の水滴に入射した太陽光が反射し、虹が見える原理である。出光方向が入光方向と完全に一致したときに再帰反射光となる訳だが、ガラス球レンズの屈折率 $N:2$ の場合にのみ完全再帰反射が実現される。なお、一般的光学ガラスの屈折率 N は $1.50\sim 1.85$ 程度である。

● **再帰反射ガラス球の工業用途** 交通事故防止のために、道路の標識や区画線には「必要に応じて反射材料を用いること」と法令に定められている。そのため道路標示用塗料・インキ1 l の中に径 $0.01\sim 0.15\text{ mm } \phi$ のガラス球 $500\text{ g}\sim 800\text{ g}$ が再帰性反射材として混入されている（図1）。この再帰反射用ガラスビーズのアイデアは、米国メーカーが $40\sim 50$ 年前に考案したものである。しかし、ガラスビーズ($N:1.5$ 前後)では実効率が極めて乏しいため、車線数の多い高速道路あるいは霧などの環境下にあると再帰反射効果が低下し、その性能改善が望まれてきた。従来の2倍の反射率のロードマーキング用特殊組成ガラスビーズ($N:1.93$)が開発され、空港滑走路用に提供されているという話題も聞かれる。

その他、マイクロガラス球を塗布したスクリーンも再帰反射特性の応用である。平面散布さ

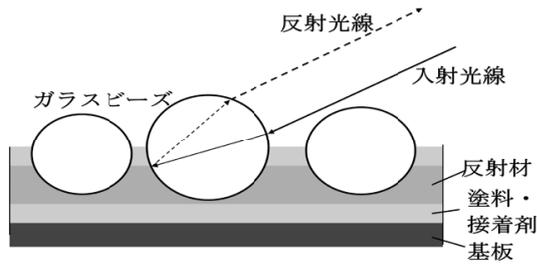


図1 ロードマーキング用ガラスビーズ

れた微小球の再帰反射によって、映画やスライド用スクリーン画面を明るくする効果が発揮されるのである。

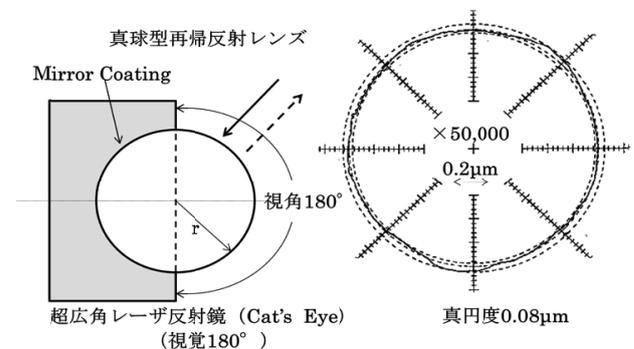
●**超広角レーザ再帰反射ミラー** 固定された複数の基準点からリトロフレクタ(レーザ測長用反射ミラーを取り付け、レーザ光を正確に180°方向転換させる光学部品)までの距離をレーザトラッキング干渉計によって動的に追尾し、その測距離から目標物の位置座標や運動経路を3次元的に同定する光学系を構築できる。この測距離システム用リトロフレクタとして、超広角レーザ再帰反射ミラーや球レンズが注目されている。その用途としては、次のようなものが挙げられる。

- ・高精度な3次元座標測定
- ・マシニングセンタやロボットアームの3次元運動軌跡の座標測定
- ・ASV(Advanced Safety Vehicle)用のセンサ(車間距離測定装置など)

従来一般に用いられて来た超広角レーザ再帰反射ミラーの光学系には、凸レンズと反射ミラーの組合せ(凸レンズの焦点をミラー面に一致させることで、入射角方向に反射光を返すことができる)、および直角3面プリズムがある。しかし、これらの光学系は運動精度や振動の影響を受けやすいばかりか、視覚も90°以下と比較的狭いのが弱点である。

●**再帰反射球レンズ** 超広角レーザ再帰反射ミラーとして、半径の異なる2つの半球を貼り合わせたレンズ構造がライカグループ(独)によって開発された。しかし、この半球貼り合わせ型再帰反射レンズ(キャッツアイ)は、製造技術の立場から見ると煩わしい設計であった。

そこで発想されたのが、真球型キャッツアイである(図2)。屈折率 $N=2$ の特殊ガラス素材を開発することによってガラス球の内面をそのまま反射ミラーとして利用できれば、視覚を原理的には360度まで拡大でき、これによって3次元座標のあらゆる角度からレーザトラッキング干渉計により位置座標測定が可能となり、かつ、その方向調整の手間を省くことが出来るようになる。真球型キャッツアイは、既に1995年にHe-Neレーザ光に対して屈折率:2という大きな値を有する特殊ガラス素材で試作された実績がある。真球型キャッツアイの構造では、球レンズの真球度が再帰反射精度の決め手になるため、極めて高い幾何精度が要求される。具体例として、その球レンズの直径38mmに対して、真球度 $0.05\mu\text{m}$ 以下であった。その結果、計測距離精度は絶対距離に関係なく、400nm程度と評価された。ただし、その素材コストは一般の光学ガラスの1桁以上も高価となった。

図2 キャッツアイと真球度(材質:特殊ガラス、屈折率 $N:1.999$ 、芝浦工大1995年)