

# 再帰性を持たせたホログラフィックグレーティングの作製と道路用視線誘導標への応用

北海道職業能力開発大学校 佐藤 龍司  
吉野 正樹  
中村 聡一  
西野 元一

Reflexive holographic grating and its application to a delineator system

Ryuji SATO, Masaki YOSHINO, Satoru NAKAMURA, Motokazu NISHINO

**要約** 吹雪時に道路を誘導するための視線誘導標は重要な役割を果たしている。

現在LEDを用いたタイプが主流である。本研究では、自発光性の光源を用いることなく、走行中の自動車のヘッドライトを光源として利用する新しいタイプの視線誘導標を提案し実験を行った。具体的には、透過型回折格子にミラーを密着させ、その回折光を入射光方向へ戻り光とする光学素子を作製した。回折格子そのものはホログラフィックな手法により14×10mmサイズのものを作製し、ミラーを密着させて再帰性を持たせた。さらに振り子運動のような機能を付加したものを視線誘導標とし、運転者に対して点滅効果や変色効果を持たせた。実際に野外に設置して観測した結果、十分な視認性があることが確認された。今後、より回折効率の高い回折格子を作製し、様々な気象条件下で観測して本手法の有用性を確認し、実用化をめざす予定である。

## I はじめに

我々は、これまで夜間の降雪時や霧中時における道路視認性を向上させるために、LEDを用いた自発光型視線誘導標の開発に取り組んできた。従来のものと比較して、少ない個数のLEDでも同等の明るさを維持し、供給電源は太陽パネルによって日中に蓄電したものを利用する省電力タイプのものであり、すでに製品として設置利用されている<sup>1)</sup>。

このような発想とは全く異なり、走行中の自動車のヘッドライトをそのまま利用した視線誘導標があるならば非常に優位性がある。このような視線誘導標とするために、分光素子などに使われている回折格子を利用することを検討した。その結果、再帰性のある回折格子を作製することによって実現の可能性があることが検討された。

本研究は、このような背景の中で、ホログラフィッ

クな手法による透過型回折格子を作製してこれに再帰性を持たせる工夫を施し、視線誘導標に利用しその有効性について検証することを目的としている。

以下本文では、回折格子の原理、再帰性を持たせる方法およびその実験結果、視線誘導標とする方法および実験結果について述べている。

## II 回折格子の原理

光のスペクトル分光に用いられている回折格子は、その格子間隔によって決まるスペクトルの波長の回折角が異なるという理由によって、所望のスペクトルを取り出すことができるものである。回折格子の単純な作製方法として、等間隔の周期情報をガラス板等の透明板に細かく溝として刻むか、白黒濃淡情報を焼き付けることにより実現している。通常分光用の回折格子

には、1次回折光のみを取り出すことができるブレード回折格子が利用されている。

また分光目的の他、結像素子やフィルタ素子としても利用可能なホログラフィックグレーティング (HG) と呼ばれる回折格子がある<sup>2-4)</sup>。これは2つの波面で形成された干渉縞を記録して得られるものである。

本研究で使用する回折格子は、このHGを使用することとし、図1に透過型HGの原理について示す。記録波長を $\lambda$ 、2つの平面波を記録面に対してそれぞれ $\theta$ 、 $\phi$ の角度で入射させ、ホログラフィックに記録する。ただし $\theta$ 、 $\phi$ は記録面の法線に対して相対する方向から入射するものとする (図1-a)。

次に、記録現象されたHGに $\theta$ の方向から波長 $\lambda$ の平面波を照射すると、入射光強度が減衰してそのまま透過する0次光と、 $\phi$ 方向に回折する比較的高強度な1次光が主に得られる (図1-b)。

— 1次光の存在については強度が弱いこと、かつ、次章以降に述べる本研究で扱う目的外の情報でもあるため、記録時の記録材料や現象等の違いから生じる回折光の振る舞いに関する厳密な言及は省略する。

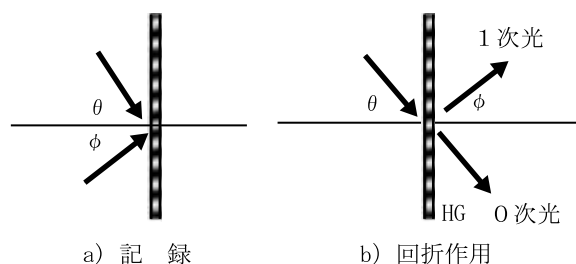


図1 HGの記録と回折作用

### III 回折光に再帰性を持たせる方法

HGから得られる1次回折光を入射光方向へ戻り光として回折させること、つまり再帰性を持たせることは必ずしも容易ではない。しかしながら、回折格子に再帰性を持たせることができるならば、これまで以上に新しい方面への利用や応用が可能になると思われる。

回折光に再帰性を持たせる回折格子の作製は、以下のような簡単な方法で実現可能である。しかも、作製技術の細かな問題がクリアされれば、本来の回折光強度をあまり損なうこともないと考えられる。

まず、図1のHG記録において $\theta = \phi = 45^\circ$ となるような条件で記録する。記録されたHGに $45^\circ$ の方向から記録時の光波を照射すると、 $45^\circ$ 方向へ1次回折光が得られる。

図2に示すように、このHGの透過側の面にミラーを密着させると、回折光はそのまま反射して再びHGに対する入射光として作用する。この入射光による回折光は最初の入射光方向に対する戻り光となる。さらに、最初の入射光の一部は0次光としてそのまま透過するため、これがミラーによって反射し、これも入射光として作用するため、その回折光も戻り光となる。

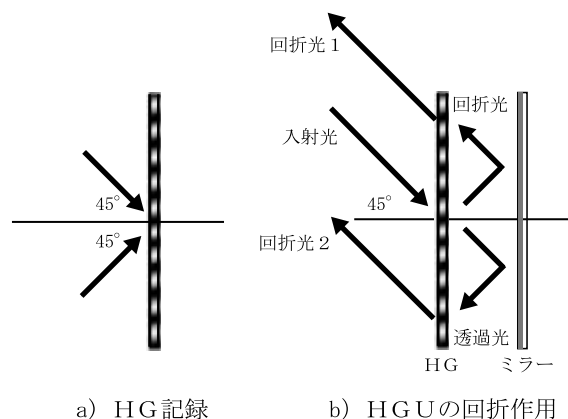


図2 HGUの回折光の振る舞い

つまり、最初の回折光と0次透過光が同時に反射して背後からの入射光となり、その回折光が再帰性を生じさせることになる。ここで、ミラーを密着させたHGをHGユニット (HG U) と呼ぶこととする。

### IV HGUの回折効率

HGは明るい回折光が得られることが重要であり、入射光強度( $I_1$ )に対する回折光強度( $I$ )の比として、(1)式のように定義される回折効率( $\eta$ )と呼ばれるもので評価する。

$$\eta = I / I_1 \tag{1}$$

これをHG Uに適用すると、HGそのものの回折効率を $\eta_i$ 、HGの透過率 (0次光と入射光の強度比) をT、HG Uとするために密着させたミラーの反射率をRとして、最初の入射光に対するHG Uの回折効率( $\eta$ )は(2)式で表される。

$$\eta = 2RT\eta_i \tag{2}$$

この式から、HGの回折効率( $\eta_i$ )、透過率(T)が各々50%であれば、HG Uの回折効率( $\eta$ )も最大50%程度になり得ることを示唆している。現実的な問題と

しては多少難しい側面もあるが、HG記録時の条件として、位相型の厚いホログラムに近い処理を施せば、HG Uの回折効率( $\eta$ )が30%程度の回折効率は得られる可能性は高い。

## V HG Uの作製および結果

HG Uの試作実験を行った。光源にはHe-Neレーザ(波長633nm)を、記録材料にはIllford-sp673フィルム(14×10cmサイズ)を用いて記録した。現像はCWC1-PBQ2処理とした。タイプとしては位相型で薄いホログラムと厚いホログラムの中間的なタイプのHGとなっている。

HG Uとするためのミラーはインクジェットプリンタ用の特殊な鏡面用紙を用いた。また、HG Uの表面を保護するために薄い透明板も密着させた。

図3に作製したHG Uに白色光を照明している様子と、観測された回折光の様子を示す。赤色波長帯は入射光方向へ戻り光として反射し、緑色や青色波長帯は少しずれた方向に反射しているのが観測され、HG Uの再帰性を確認することができた。

回折効率の測定も行った。透明板の透過率  $T_p$  も考慮すると、(2)式は(3)式に置き換えられる。

$$\eta = 2RTT_p^2\eta_i \quad (3)$$

作製したHG Uの $\eta_i$ 、 $T$ 、 $T_p$ 、 $R$ を実際に測定した結果、それぞれ約 $\eta_i=11\%$ 、 $T=50\%$ 、 $T_p=88\%$ 、 $R=83\%$ であった。これらの値を(3)式に代入すると、HG Uの回折効率( $\eta$ )は約7%という値を得た。この値は、HG単体の場合の回折効率の63%程度の減衰があることを意味する。



a) 作製されたHG Uに白色光を照明



b) 回折光(左から赤色、緑色、青色の順)

図3 HG Uと観測された回折光

実験結果からは、期待したほどの高回折効率を得るまでには至っていない。その理由の一つには、HGの大きさの都合から、現在入手している感光材料としてフィルムタイプのものしか使用できなかったことが上げられる。フィルムタイプの感光材料は一般的にプレートタイプに比べて回折効率が劣ることは否めない。プレートタイプであれば、20%以上の回折効率が得られるものと予測している。現在、昨年末に新しいタイプの感光材料が供給されるようになり、これ入手しその特性を検討中であり、試作予定である。また、ミラーや透明板も簡単に入手できるものを利用したことも一因で、今後の改良課題として検討が必要である。

## VI HG Uの視線誘導標への応用と実験

ここではHG Uの道路用視線誘導標への応用について述べる。夜間の道路視認性向上を目的として、コーナーキューブと呼ばれる光学素子を視線誘導標として、路側に設置されていた時期がある。コーナーキューブとは、入射光が入射光方向へ反射する仕組みの光学素子で、自動車のヘッドライトが照射されると、運転者はその反射光を直接目にすることができる。安価であり非常に有効な手段と思われるが、最近では工事に一部利用されているものの、あまり見かけなくなった。点滅効果がないことが、一つの要因ではないかと推測している。

代わりにLEDが積極的に使われ始めている。点滅効果も付加することが可能なため、特に霧中時や積雪寒冷地における降雪(吹雪)時の気象条件下では有効で、普及率も高い。しかしながら、1本の視線誘導標に数十個ものLEDを配列していること、必要以上の電流を流して明るさを確保している等の事情から、山間部での電源供給方法や耐久性の問題が生じている。

前述したように、著者らはこれら諸問題を解決したLEDを用いた視線誘導標を開発し、すでに製品化されている。本研究におけるHG Uを視線誘導標に用いる理由として、まず、HG Uが再帰性を有していることから、コーナーキューブと同様に車のヘッドライトを光源として用いることができることが上げられる。次に、適当に回転させることができれば、分光された回折光の色が次々と変化するため、運転者には点滅の効果も含めた色の変化という心理的効果が期待できる。つまり、省エネルギーかつ視覚刺激効果を持つ視線誘導標が可能になる。このような理由から、HG Uを装

着した視線誘導標を試作し実験および観測を行った。

まず、HG U面を往復運動させるために、磁場変化によって振り子運動する機構を持った装置に固定する。往復運動は、太陽電池で得られたエネルギーを蓄電した電源回路で駆動させている。その状態を図4に示す。これを直径100φ程度の支柱の上部に固定して視線誘導標とした。



図4 HG U外観

野外実験として、屋外に設置して30m程離れた距離から車のヘッドライトを照射し、戻り光を運転席から観測した。この結果、分光された様々な波長の光が線

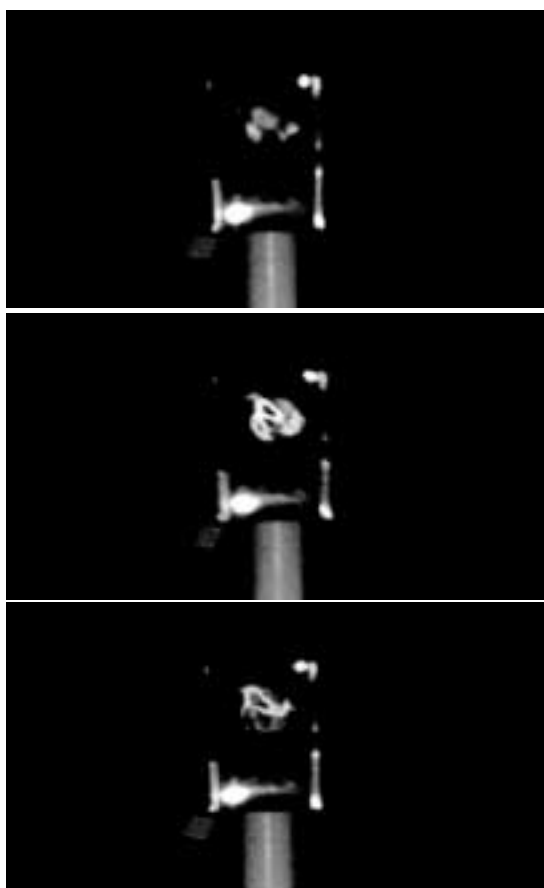


図5 視線誘導標の野外観測

り返し観測することができた。図5に野外実験観測時の赤色、緑色、青色で観測した結果を示す。回折効率の測定値から予測される以上の良好な刺激光を得ることができた。回折効率が向上すればさらに視認性が向上すると思われる。ただし、この時点で降雪時等の環境下での観測は行ってないため、実用化に向けて良質なHGの作製と観測が必要である。

## VII おわりに

再帰性を有した透過型HGを作製し、視線誘導標へ応用することを目的として実験および観測を行った。

具体的には、ホログラフィックな手法によってHGを作製し、これにミラーを密着させて実現する方法を考案し、再帰性を持たせることができた。また、その特性も解析した。

応用として視線誘導標として利用することを提案し、回折効率の向上という課題は残るものの、視覚刺激を促し十分に利用できることが確認された。今後は回折効率のより高いHGを作製し、様々な気象条件下の観測を重ね、実用化に向けた検討を行っていく予定である。

本研究の遂行において、現本学応用課程学生の小野寺弘行君と斉藤晃久君にはHG Uの作製や冬期の寒い屋外での実験などで協力頂いたことに感謝する。

### [参考文献]

- (1) 中村 他、「標準電波 J J Y を使った同期発光型道路用視線誘導標」、技能と技術、4号、2004、P 2 - 6
- (2) 久保田敏弘、「ホログラフィー入門」、朝倉書店、1995
- (3) 辻内順平、「ホログラフィー」、裳華房、1997
- (4) P. Hariharan, 「Basics of Holography」, The Press Syndicate of The Univ. of Cambridge, 2002