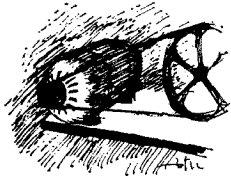


最近の展望

UDC 535.412: 535.317.1



インコヒーレント・ホログラフィ

村 田 和 美

北海道大学工学部応用物理学科 札幌市北12条西8丁目

(1968年12月27日受理)

1. はじめに

ホログラフィの原理は1948年 Gabor¹⁾ によって初めて報告され、1960年代にはいってレーザーの出現と Leith²⁾ らの研究によって実用化への端緒がひらかれた。しかしその後研究されたホログラフィはほとんどがレーザーを光源とするコヒーレントホログラフィで、スペクトルに幅があり光源の面積もあまり小さくできない一般の準単色光源は使うことができない。また一方、ホログラフィの対象とする物体にはインコヒーレントに照明されるものや自発光のものも多い。このような場合にインコヒーレントホログラフィが必要となってくる。

インコヒーレントホログラフィにおいては物体上の各点は相互にインコヒーレントであっても、それぞれの物点から出た光自身がその点の位置と強度をあらわす干渉縞をホログラム上に作る。そして再生像を得る方法はコヒーレントホログラフィの場合と同じである。

インコヒーレントホログラムには干渉縞がフレネルゾーンプレート (FZP) となるフレネル変換ホログラム、干渉縞が正弦波格子となるフーリエ変換ホログラムおよび色消し回折格子の像を搬送波とする方法がある。

2. フレネル変換ホログラム

フレネル変換ホログラムでは物体上の点に対応する位置を中心にした FZP を記録すればよい。Mertz^{3,4)} らは暗箱写真機のレンズの代りに1つの FZP をおいて星の写真をとった。このとき得られる像は FZP の大きさが波長にくらべて十分大きい場合は FZP の幾何学的な影絵となり星のフレネル変換ホログラムに相当する。したがってこれを平面波で照明すれば再生像が得られる。再生においては FZP の回折によるレンズ作用を利用するのでより長い波長の光で照明しなければならない。Mertz³⁾, Young⁵⁾ らはこの方法で X 線星の撮影記録を行ない、Einigamhamer⁶⁾ はフィルムの解像力やホログラムの距離と再生像の分解能との関係を論じている。

FZP ホログラムを物体面上の物点について波動光学的につくる方法として、物点からの光波を二つに分割し

進行方向にずらして2重焦点をつくりその中間の位置で干渉縞を記録することを Lohmann⁷⁾ が提案した。たとえば複屈折性のある結晶でつくったレンズを用いる方法や FPZ とレンズの組み合わせを用いる方法がある。その後 Peters⁸⁾ と Cochran⁹⁾ は三角形干渉計の光路に焦点距離の異なる2枚の凸レンズを挿入して望遠鏡系を構成し、逆方向に進む両波面がホログラム上で焦点を結ぶようにした。そこで物体面を若干光軸方向にずらすと物点から出た光はホログラム面で干渉し FZP をつくる。この方法の特徴として光軸に沿っての両光波の光路長は全く等しく、光軸からはなれた物点についても両光路長の差は僅少である。このことは光源に許容されるスペクトルの幅が広いこととなり都合がよい。また物体を光軸の片側のみに配置すれば再生のときに二重像があらわれない。

以上のいずれの方法も点や線からなる簡単な物体に対してはよい再生像が得られるが、連続的な強度分布をもった複雑な物体に対するホログラムは各点に対応する FZP が強度で重なり合い直流的なバイアス成分が大きくなり干渉縞のコントラストが低下し再生が困難になる。この点を解決する方法の一つとして Kozma¹⁰⁾ らは Linnik 型干渉計を用いて FZP 干渉縞をつくり、一方の鏡を光路方向に振動させホログラム面の強度を測光してから電気的に振動する成分のみをフィルターし、バイアス成分を除去して CRT などによりホログラム像を記録することを提案している。

3. フーリエ変換ホログラム

インコヒーレントに照明されている物体面の物点から出た光を分割して光軸と直角方向に、そして物点と像点とが光軸に対して点対称になるように結像させこれら1対の点からの光を重ね合わせると平行正弦波格子のヤングの干渉縞を得る。この干渉縞の方向と間隔は物点の位置を、また干渉縞の明るさは物点の強度をあらわしている。これを記録すればホログラムとなる。ホログラムを作るときに2点からの光をレンズにより平面波にすればフーリエ変換ホログラムが得られ、レンズを使わな

ればレンズレス・フーリエ変換ホログラム¹¹⁾が得られる。

物点の像を得る方法で一番簡単なのは一枚鏡 (Lloyd's mirror) であるがこの場合物点と像点が線対称となり、すべての干渉縞の方向が一定してしまうので一次元状の物体にしか適用できない¹²⁾。物点の像を点対称につくるために2枚以上の鏡やプリズムやレンズを組み合わせたいろいろな工夫があるが¹³⁾、Stroke¹⁴⁾らはビームスプリッターに反射回折格子を用いた鏡の組み合わせを使ってフーリエ変換型インコヒーレントホログラムの実験をはじめて試みている。その後 Worthington¹⁵⁾はプリズムと鏡を用いた干渉計で、水銀灯やタングステンランプとフィルターを組み合わせたものを光源として良い再生像を得ている。また加藤¹⁶⁾は物点とその像点は光軸に直角な面内分離さえしていれば光軸に対して点対称でなくてもよいことをしめし Williams 型干渉計の変型として二つの球面鏡 (または拋物面鏡) を用いた干渉計によりフーリエ変換ホログラムを得る方法を試みた。この方法は物体の大きさが球面鏡の大きさに比べて非常に小さい場合に適している。

物体の強度分布が複雑である場合に各点のホログラムとしての干渉縞が強度で重なるためバイアス成分が大きくなり干渉縞のコントラストが減少し S-N 比が低下することはフーリエ変換ホログラムにおいても同様である。この難点をさけるために考えられた方法に Bryngdahl ら¹⁷⁾の一次元インコヒーレントホログラフィがある。これは xy 面内の二次元物体に対し、たとえば x 方向にのみフーリエ変換ホログラムをつくり、さらに x 方向にのみ再生する方法で、 y 方向ではホログラム記録および再生の過程においては単純な結像を行なう。両過程における変換には、円筒レンズと球面レンズを組み合わせた一次元マルチチャンネルフーリエ変換系¹⁸⁾が用いられ物体を x 軸に平行な幅のせまい一次元の素子に分解しそれぞれが同時に x 方向にフーリエ変換される。この方法ではホログラム面内で干渉縞の重なりが少なくコントラストのよい再生像が得られるが、物体の情報は一次元的にしかホログラムの中に変換されていない。しかし幅のせまい部分を順次再生することもできし、照明光の面積も少なくなるなどで利用の道もあると思う。

4. 色消し回折格子を搬送波とする方法

Leith ら¹⁹⁾はスペクトル幅の比較的広い準単色光によっても可能なインコヒーレントホログラフィの一方法を試みている。まず回折格子を準単色光平面波で照明し ± 1 次を通過させるレンズで格子の像をホログラム面上

に結像させる。この像は色収差のない回折格子の像でありこれがキャリアとなる。レンズの後側焦点面には $+1$, 0 , -1 次のスペクトルとして光源の像が分離しているので、 0 次を吸収フィルターで除去し $+1$ 次または -1 次のいずれかの光束中に物体を挿入すればコヒーレント光による2光束ホログラフィ²⁰⁾の場合と同じようにキャリアである正弦波格子は変調されてホログラムとなる。 0 次スペクトルを除去する代りに $+1$ 次または -1 次スペクトルを除去することも考えられる。計算によれば物体に含まれる空間周波数が低いほど、また物体の位置がスペクトル面に近いほど光源の時間的コヒーレンスに対する許容度が大きくなる。この方法により超高圧水銀灯を光源として強度が連続的に変化する複雑な写真や立体的なシルエットを物体としてその再生像を得るのに成功している。加藤²⁰⁾は上記の正弦波格子の代りに軸外れの FZP を用いる方法を試みている。

5. おわりに

以上においてインコヒーレントホログラフィの原理と技術について最近の研究を展望した。インコヒーレントホログラフィを理論的、定量的に取り扱った研究は少ないが、加藤¹⁶⁾はホログラムの記録およびこれからの像再生における関係式を導き倍率や焦点距離の公式などを導いている。また Nomarski ら²¹⁾はコヒーレントおよびインコヒーレントホログラフィを数式的に同じ扱いをする方法を提案している。

インコヒーレントホログラフィの応用に関しては光学情報処理への応用^{17, 22, 23)}、紫外¹⁶⁾および X 線領域^{3-6, 12)}²⁴⁾への応用についていくつかの提案と試みがあるに過ぎないが、今後これらの応用が発展するものと思われる。

本稿でのべたインコヒーレントホログラフィはインコヒーレントに照明された物体のホログラムをつくることが主であるが、このほかインコヒーレント物体の像を蠅の目レンズで撮影しこれをコヒーレント光で立体再生してホログラムをつくる方法²⁵⁾ (ホロコーダーと呼んでいる) やコヒーレント光でつくったホログラムを白色光で再生する技術などが報告されている²⁶⁻³¹⁾。

文 献

- 1) D. Gabor: *Nature*, **161** (1948) 777, *Proc. Roy. Soc. (London)* **A 197** 454, **B 64** (1951) 449.
- 2) E. N. Leith and J. Upatnieks: *J. Opt. Soc. Amer.* **52** (1962) 1123, **53** (1963) 1377, **54** (1964) 1295.
- 3) L. Mertz and N. O. Young: *Proc. Conf. Opt. Instr. Tech.* London 1961, (Chapman and Hall, London, 1962) 305.
- 4) L. Mertz: *Transformation in Optics*. (Wiley,

- New York, 1965), Chap. 3
- 5) N. O. Young: Sky and Telescope, **25** (1963) 8.
- 6) H. J. Einighammer: Optik, **23** (1965) 627.
- 7) A. W. Lohmann: J. Opt. Soc. Amer. **55** (1965) 1555.
- 8) P. J. Peters: Appl. Phys. Letters, **8** (1966) 209.
- 9) G. Cochran: J. Opt. Soc. Amer. **56** (1966) 1513.
- 10) A. Kozma and N. Massey: J. Opt. Soc. Amer. **56** (1966) 537.
- 11) G. W. Stroke: Appl. Phys. Letters, **6** (1965) 201.
- 12) J. T. Winthrop and C. R. Worthington: Phys. Letters, **15** (1965) 124.
- 13) see 4) Chap. 4
- 14) G. W. Stroke and R. C. Restrict: Appl. Phys. Letters, **7** (1965) 229.
- 15) H. R. Worthington, Jr.: J. Opt. Soc. Amer. **56** (1966) 1397.
- 16) 加藤誠, 鈴木達朗: 応用物理, **36** (1967) 903.
- 17) O. Bryngdahl and A. W. Lohmann: J. Opt. Soc. Amer. **58** (1968) 625.
- 18) L. J. Cutrona, E. N. Leith, C. J. Palermo and L. J. Porcello: IRE Trans. **I-T 6** (1960) 386.
- 19) E. N. Leith and J. Upatnieks: J. Opt. Soc. Amer. **57** (1967) 975.
- 20) 加藤誠, 鈴木達朗: 第15回応用物理学関係連合講演会, 1968年4月予稿集, 148頁.
- 21) G. Nomarski and C. J. Koester: J. Opt. Soc. Amer. **57** (1967) 562.
- 22) W. D. Montgomery: J. Opt. Soc. Amer. **56** (1966) 1769.
- 23) O. Bryngdahl and A. W. Lohmann: J. Opt. Soc. Amer. **58** (1968) 1556.
- 24) 鈴木達朗, 横関俊介: 応用物理, **38** (1969) 157.
- 25) R. V. Pole: Appl. Phys. Letters, **10** (1967) 20.
- 26) G. W. Stroke: Phys. Letters, **23** (1966) 325.
- 27) G. W. Stroke and A. E. Labeyrie: Phys. Letters, **20** (1966) 368.
- 28) L. H. Lin, K. S. Pennington, G. W. Stroke and A. E. Labeyrie: Bell Syst. tech. J. **54** (1966) 659.
- 29) D. J. De Bitetto: Appl. Phys. Letters, **9** (1966) 417.
- 30) E. N. Leith, A. Kozma, J. Upatnieks, J. Marks and N. Massey: Appl. Optics, **5** (1966) 1303.
- 31) C. B. Burckhardt: Bell Syst. tech. J. **54** (1966) 1841.