

光学的自己相関計

Optical Auto-correlator

松本 和也・小瀬 輝次

Kazuya MATSUMOTO and Teruji OSE

試料の透過率を $B(x, y)$ としたとき、この自己相関関数は

$$I(s, t) = \iint B(x, y)B(x-s, y-t)dx dy$$

で与えられる。

この積分計算をアナログ的に求めるために光学的自己相関計が工夫されている。これの代表的なものとしては同一試料を2枚用意し、それらを重ね合わせ互に横ずらしを与えながらこれらを平行光で照明し、その全透過光

量を測定して試料の自己相関関数を求めるという Kretzmer の方法¹⁾と、1枚の試料を平面鏡と相対させ、平面鏡による試料の鏡像(幾何光学的な影絵)と試料の相関を求める Kovásznay の方法²⁾がある。

Kretzmer の方法は非常に簡単であるが同一試料を2枚用意しなければならぬということと、1次元方向の自己相関関数しか測定できないという制約がある。

一方 Kovásznay の方法は試料をずらす必要がなく、2次元の自己相関関数を得られるという大きな特徴があるが、幾何光学的影絵を用いるために試料が細かい時、また大きなずらしを必要とする時は回折の影響を無視できなくなる。さらに試料を照明するのに半透明鏡を用いなければならないが視界を大きくすると入射角による反射率の変化のため試料を一様に照明することは非常にむずかしくなる。

Kovásznay は光電的に1次元的自己相関を求める時、フライングスポット等を用いた走査方法を示しているが、光源を移動させて試料と影絵の相対的横ずれを与える場合には光源の像も移動するので受光系の追尾操作が必要になる。

われわれは従来の光学的自己相関計が持つこれらの欠陥を改善する目的で、新しい光学的自己相関計を試作し良好な結果を得ることができたので、この原理と測定例を示す。

新しい光学的自己相関計に要求した条件は

- 1) 試料は1枚で済むこと。
- 2) 試料の等倍正立像をレンズを用いて試料面に形成させる。
- 3) 光路中に半透明鏡は用いない。
- 4) 受光系の追尾操作は避ける。

この条件を満たす装置の光学系を図1に示す。

収束光で照明されている試料 B のレンズ L_1 による像 B_1' は反射鏡 M_1 により反射鏡 M_2 の中心付近にでき(B_2')これはさらに反射鏡 M_3 で反射の後レンズ L_2 により試料面上に結像する。レンズ L_1, L_2 はもちろん同一焦点距離のレンズであり反射鏡 M_1, M_2, M_3

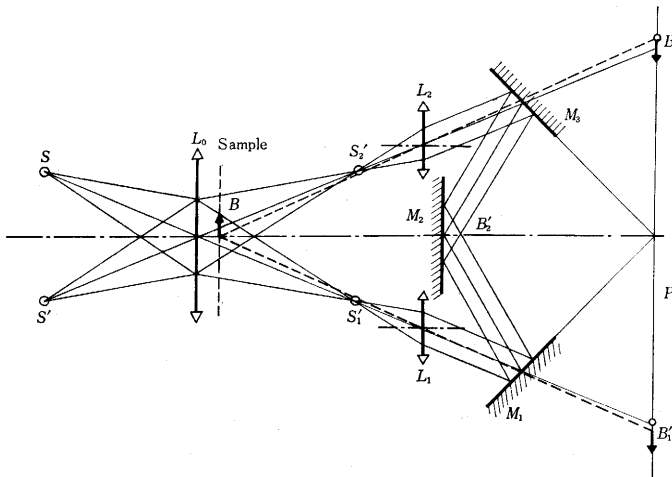


図 1

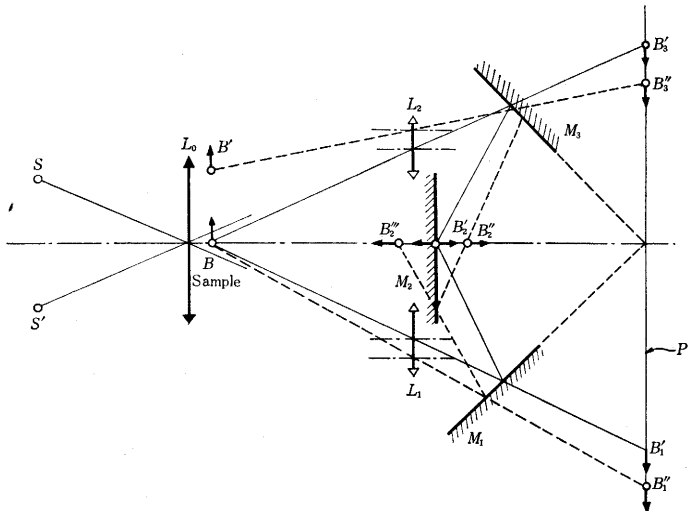


図 2

研 究 速 報

と共にレンズ L_0 の光軸に関して対称に配置するとこの像は試料の正立等倍の像となる。

試料とその面上の像が互に一致している状態 (図 1) でレンズ L_1 を図 2 のように下方に移動せしめると B の像 B_1'' は図の破線のように像面 P_1 上で下方に移動する。 M_1 により B_1'' は B_2''' にできるが M_2 で反射され B_2'' に結像する。 M_3 によるこの像 B_3''' は P_1 面上でもとの像 B_3' の下方にできるのでレンズ L_2 を L_1 の移動量だけ上方に移動せしめると B_3' の像 B' は試料面上を上方に移動し試料と試料像の間に横ずれを与えることができる。

このような試料像を横ずらしするために L_1, L_2 を反対方向に移動せしめるが、光源からの光束の動きを見ると、図 1 でわかるように光束はレンズ L_0 によりレンズ L_1 の焦点面に光源像 S_1' を形成し、レンズ L_1 を通過後は平行光となる。この平行光が M_1, M_2, M_3 で反射されレンズ L_2 の焦点面に再び光源像 S_2' を形成する。これがさらにレンズ L_0 によって光源 S と同一面上に S' として結像されるのでレンズ L_1, L_2 の移動が光軸に関して対称の位置関係を保って行なわれるならば S' は不動にできる。もちろん光源 S をレンズ L_0 の光軸外に配置するから像 S' も光軸外に結像し S' の位置に光電管をおいて半透明鏡なしで光量測定ができる。

さてこの装置は幾何光学的には確かに自己相関関数の測定になるがレンズを用いて試料と試料像を重ねるのでレンズの結像性能が測定精度に影響を与える。

試料の照明光のコヒーレンシは光源 S の大きさで左右されるが L_0 の焦点距離に対して比較的大きいピンホールを用いているのでここでは近似的にインコヒーレント照明と考える。

試料の強度透過率を $B(x, y)$ 、レンズ L_1, L_2 を含む結像系の点像の強度分布を $r(x, y)$ 、試料像の強度分布を $B'(x', y')$ とすると

$$B'(x', y') = \iint B(x, y) r(x' - x, y' - y) dx dy$$

となり光源像 S' の光量は $x - x' = s, y - y' = t$ とおき

$$I(s, t) = \iint B(x, y) B'(x - s, y - t) dx dy$$

となる。これを空間周波数領域で考えると、

$I(s, t), B(x, y), B'(x', y'), r(x, y)$ のフーリエ変換を $i(uv), b(u, v), b'(u, v), R(u, v)$ とおくと

$$i(u, v) = b(u, v) b'(u, v) = b^2(u, v) R(u, v)$$

ここで $R(u, v)$ は結像系の総合レスポンス関数である。

この式より試料が低周波成分のみであれば $b^2(u, v)$ は $R(u, v)$ に比して速やかに減衰し $R(u, v)$ の影響はあまりない。試料が高周波成分を持つ時はレスポンス関数 $R(u, v)$ による補正が必要となる。

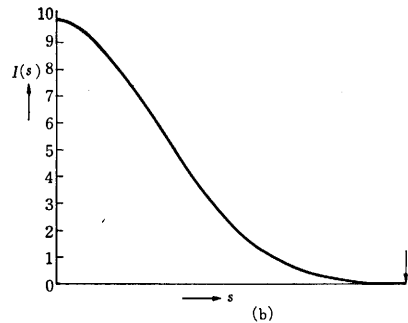
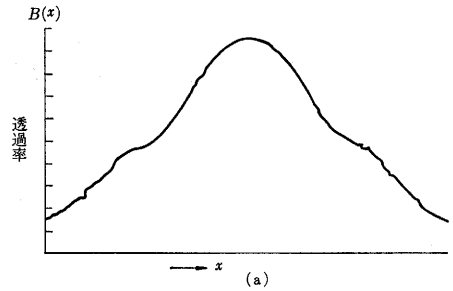


図 3

以下の測定例は、像改良用フィルタの自己相関関数で、これは無収差レンズの瞳にこれを入れた時、このレンズ系のレスポンス関数を表わす。このようなフィルタは低周波成分のみであるから $R(u, v)$ の補正を必要とせず、円形開口についての測定結果は実測値と計算値が 1% 以下の誤差で一致しており、この例の場合もほぼ同程度の誤差で測定されていると思われる。

図 3 (a) はフィルタの透過率で中心より周辺にゆくにつれて強い吸収を与えたもので、レスポンス関数の低周波を強調し忠実性を増そうというものである。(b) はこれの測定した自己相関関数すなわちこのレンズ系のレスポンス関数である。

この相関計は試料が 1 枚ですむのでこの例のように特殊な透過率をもつために試料のレプリカの製作が困難なものについてとくに有効である。今後像改良フィルタの研究、試作に便利に用いられるであろう。

粒状の自己相関関数を測定するためにはこの相関計のレスポンス関数を測定しなければならないがこれについては目下実験中である。

おわりに本装置の試作にあたり種々有益な示唆を賜ったキャノンカメラ光学技術部田鍋昭氏に厚く御礼を申し上げる。

(1967 年 10 月 24 日受理)

文 献

- 1) E. R. Kretzmer: Bell System Tech. J. 31, 751 (1952).
- 2) L. S. G. Kovásznyay: Rev Sci. Instr. 28, 793 (1957).