

技術報告

UDC 620.186.1 : 531.717.2 : 535.3.087.2

オプティカルマッチドフィルタリング
による炭化物の形状識別*

中 田 栄 一**

Discrimination of Carbides Morphology by Optical Matched Filtering Method

Eiichi NAKATA

Synopsis:

An application of optical matched filtering, which is one of the hologram techniques, to the recognition of patterns is described from the viewpoint of quantitative metallography.

The results obtained are summarized as follows:

- 1) The contour treatment of the input patterns is effective in the recognition of patterns.
- 2) The optical matched filtering method was applied successfully to determine the morphology of carbides in a high manganese cast steel.

(Received July 3, 1972)

1. 緒 言

鑄鉄中の黒鉛，鋼中の介在物，炭化物，および析出型合金，分散型合金などの析出相，分散相などの形状，大きさ，分布，繊維複合材料の繊維分布，さらに結晶粒度，転位密度などは，これら材料の機械的諸性質との間に深い関係があることはよく知られている。しかしながら，これらの材料のマクロあるいはミクロな組織と機械的諸性質との定量的な関連性は十分に求められていない。この理由として，金属組織の定量的な測定法が確立していないことがあげられる。

この分野について，米国などでは，Quantitative Stereology¹⁾ または Quantitative Metallurgy などの名称で呼ばれ，比較的関心がはらわれている。また各種計測技術の進歩とともに，金属組織を定量化しようとする研究がおこなわれている。すなわち，JOHNSON²⁾，SPEKTOR³⁾，WILLIAMS と SMITH⁴⁾，LORD と WILLIS⁵⁾，SMITH と GUTTMAN⁶⁾，ANDERWOOD⁷⁾，HOWARD と COHEN⁸⁾，BROPHY と SINNOTT⁹⁾，CAHN と FULLMAN¹⁰⁾，WYMAN と MOORE¹¹⁾，および ALLIO と RANDOLL¹²⁾らの研究がある。また，近年，金属顕微鏡に走査装置および小型電子計算機を組合わせた装置が開発されている。たとえば，Leitz 社の Leitz Classimat，Zeiss 社の Micro Videomat などがある。

しかし，これらの研究および計測装置では，金属組織の形状を自動的に計測するまでにいたっていない。

この金属組織の形状識別は，原理的には，パターン識別であり，画像処理の一分野である。このパターン識別は，大型電子計算機を使用した計測システム^{13)~16)}なども開発されつつあるので，近い将来，有力な方法となるものと推定される。

一方，形状識別の手段として，ホログラフィーの技術の応用が考えられる。この方法は，光学的に，二次元画像から，特定の形状画像を取り出すものである。たとえば文字，図形の検出¹⁷⁾¹⁸⁾，指紋の検索，およびひずみの測定¹⁹⁾，材料試験への応用²⁰⁾などが報告されている。しかし，現在まで，金属組織の形状識別に応用した研究はみあたらない。

この光学的パターン識別は，レーザの出現により，コヒーレントな光源が手軽に入手することが可能になったため，十分に，能力を發揮するものと考えられる。このようなコヒーレント光学系によるパターン識別は，オプティカルマッチドフィルタリングと言われ，雑音の中から信号の存在を検出する方法として通信理論の分野で開発されたもので，LUGT²¹⁾²²⁾らが，この手法を，ホロ

* 昭和46年10月，47年4月本会講演大会にて発表
昭和47年7月3日受付

** 早稲田大学理工学部 工博

グラフィの技術を用いて、光学的情報処理手法としたものである。

このように、オプティカルマッチドフィルターリング^{2a)}は、二次元の画像信号の検出にきわめて有力な手法である。そこで、本報告では、実験的に、金属組織の形状識別を実施した結果について述べる。

2. 実験および結果

マッチドフィルターについて原理的に説明すると、次のようである。

雑音とともに入力されてくる信号 $s(x, y)$ に関するオプティカルマッチドフィルターの周波数特性 $G(p, q)$ は、次のようになる。

$$G(p, q) = kS^*(p, q) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 p, q は二次元空間周波数、 k は定数、 $S^*(p, q)$ は入力信号 $s(x, y)$ のフーリエスペクトル $S(p, q)$ の複素共役量とする。

このような周波数特性を示すようなマッチドフィルターは、 $S(x, y)$ のフーリエ変換ホログラムをつくることによつて得られる。そこで、Fig. 1 に示すような光学系で、物体面 P_1 に $s(x, y)$ を挿入し、 P_2 面に写真乾板を挿入後、この写真乾板上に、参照点光源からの光とともに $s(x, y)$ のフーリエスペクトル $S(p, q)$ を記録すると、写真乾板上の強度 $I(p, q)$ は、次の (2) 式のようになる。

$$\begin{aligned} I(p, q) &= |S(p, q) + Re^{ipb}|^2 \\ &= |S(p, q)|^2 + R^2 + RS^*(p, q)e^{ipb} \\ &\quad + RS(p, q)e^{-ipb} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

ただし、 R は参照光の振幅、 e^{ipb} は位相項である。そ

こで、写真乾板の比例部を用いた場合、乾板上の濃度は (2) 式に比例した複素振幅透過率をもち、かつ $s(x, y)$ の情報を記録したホログラムとなる。

そこで、Fig. 2 に示すような光学系において、物体面 P_1 に識別したい信号情報を含む画像 (具体的には、金属組織写真のフィルム) $g(x, y)$ を挿入し、 P_2 面に上記のホログラムを挿入すれば、 P_3, P_4, P_5 面にそれぞれ、コリレーション、入力パターン倒置像、コンボリューションが得られる。この P_3 面に得られた回折光は、(1) 式に示されたマッチドフィルターの特性と同じであり、 $s(x, y)$ と $g(x, y)$ との相互相関を示すことになる。そこで、金属組織を一定の約束で標準化した各種パターンを $s(x, y)$ として、識別したい金属組織を含むパターン $g(x, y)$ について、フィルターリングを行なうことにより、金属組織 $g(x, y)$ と標準化パターン $s(x, y)$ との相互相関 $r_{+1}(x, y+b)$ を写真乾板上に濃度として求めることができる。

光学的マッチドフィルターの作製、およびパターン識別用の光学系は、次のようである。すなわち、He-Ne レーザー光 (波長 6328 Å, 出力 10 mW) を半透鏡を用いて物体照明光と参照光に分け、物体照明光は、顕微鏡用対物レンズにより光束を拡げられ、コリメーターレンズで平行光とされる。一方、参照光は、顕微鏡対物レンズにより絞られ、写真乾板に直接入射させられる。なお、写真乾板は Agfa.-Gevaert Scientia 10 E 70 を使い、現像は D-19 で 5 min 処理を行なつた。

本測定に先だつて、本実験の光学系について、識別能力のチェックと、パターンの前処理効果をモデルパター

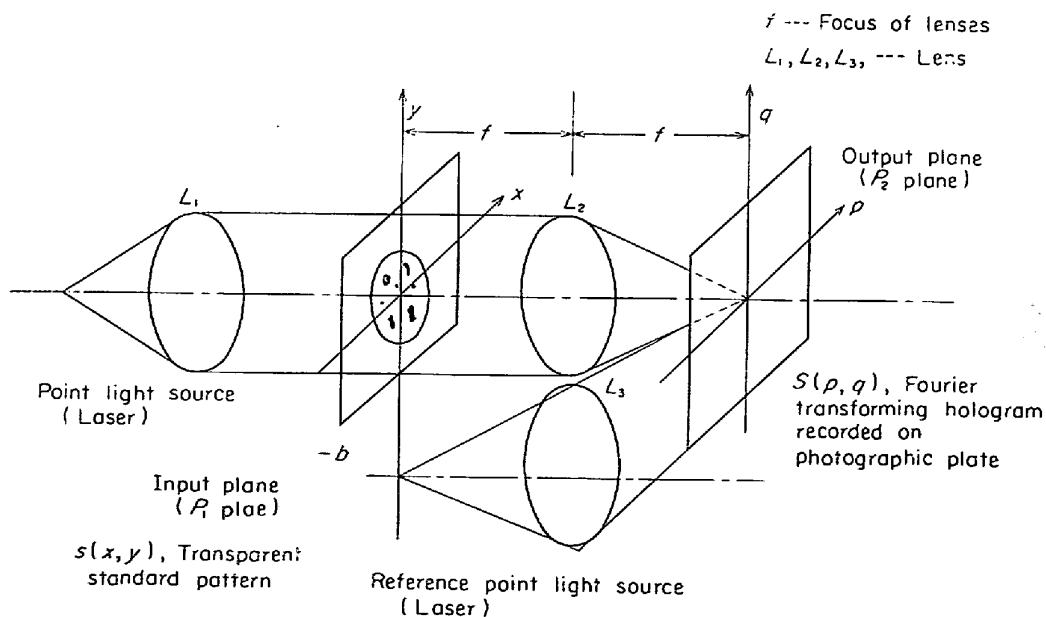


Fig. 1. Coherent processing system for optical matched filter.

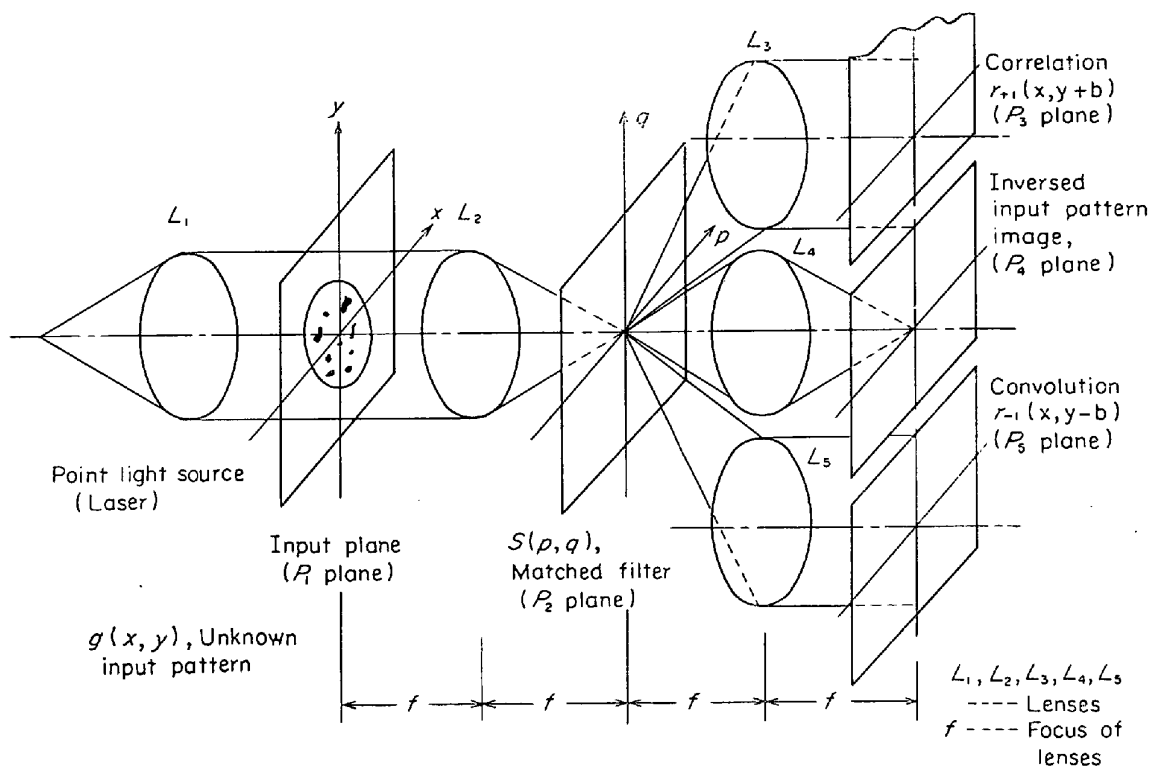


Fig. 2. Coherent processing system for pattern recognition.

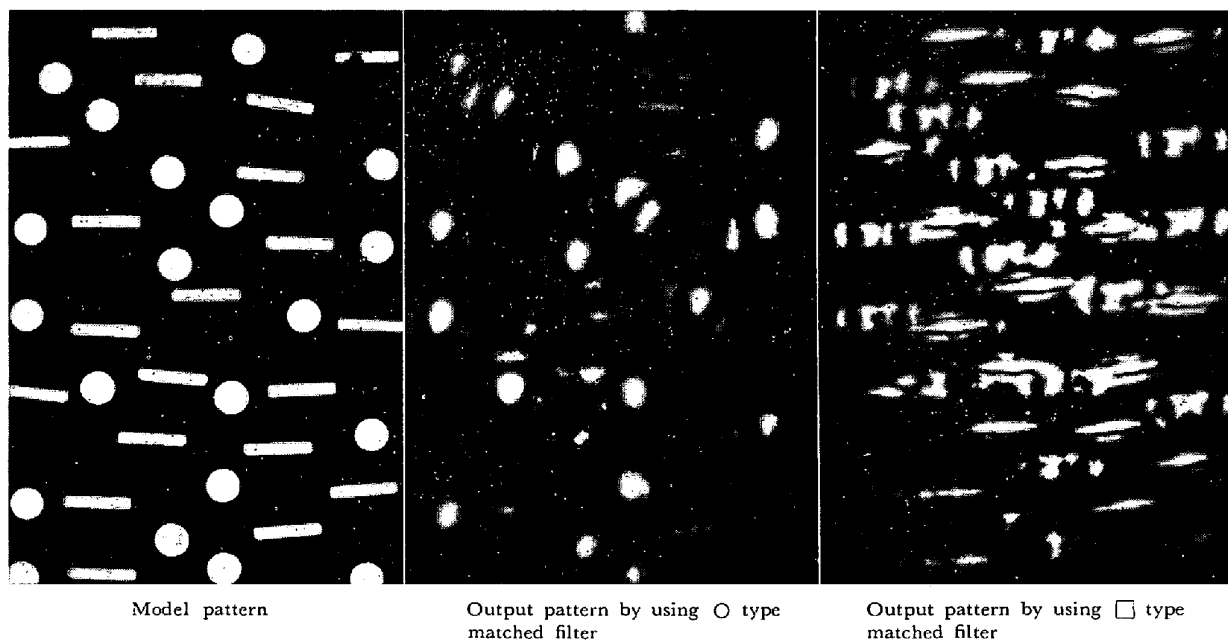


Fig. 3. Pattern separation of mixed model pattern of O type and square type.

ンにより調べた。

Fig. 3は大きいO型と□型のパターンが混合しているモデルパターンについて、大きいO型と□型をそれぞれフィルターとした場合の出力面の状況を示す。これによると、フィルターの選び方によつて、出力面でのパターン形状の分離能力が異なることが認められる。また

Fig. 4は、大きいO型と小さいo型のパターンが混在しているモデルパターンを、小さいo型のパターンをマッチドフィルターとして処理した場合の出力像を示す。この出力面で、小さいo型に対応する位置に、強い出力像が得られる。しかし、大きいO型の対応位置にも、出力像があるが、その強度は、小さいo型の出力強度より弱

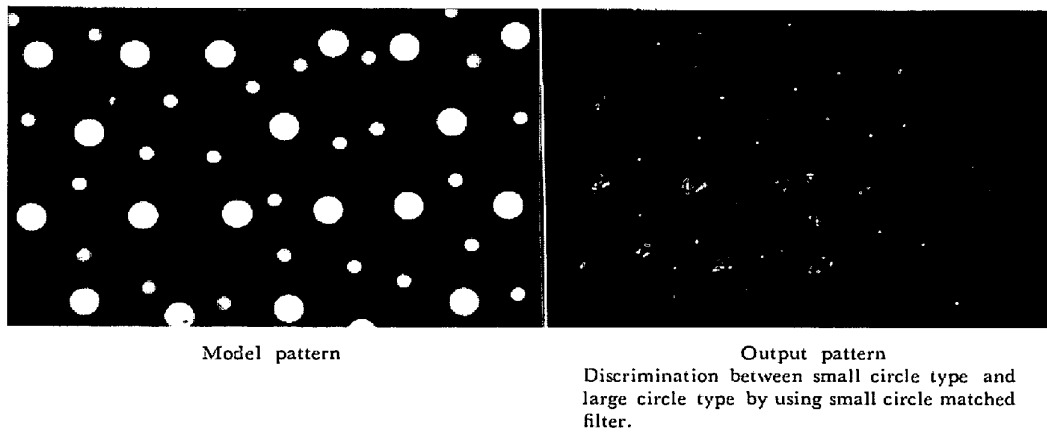


Fig. 4. Discrimination of mixed model pattern to small circle type and large circle type.

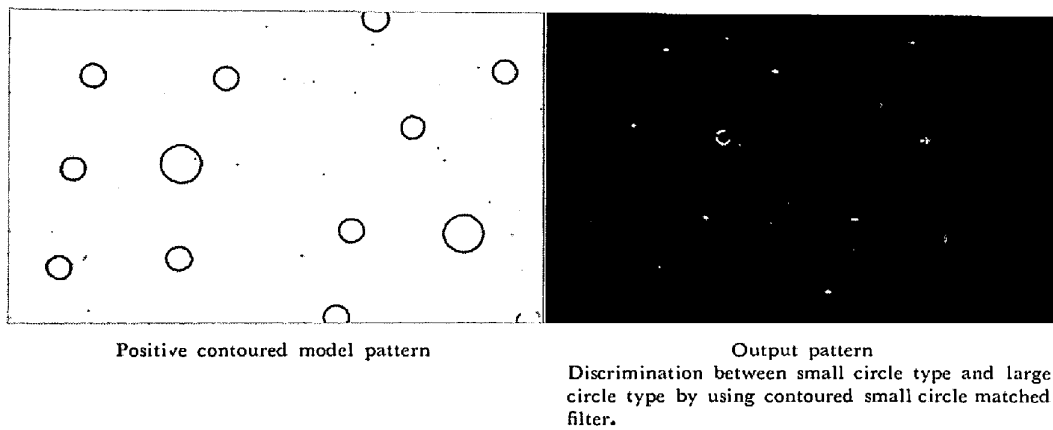


Fig. 5. Discrimination of mixed model pattern to small circle type and large circle type pretreated by contour process.

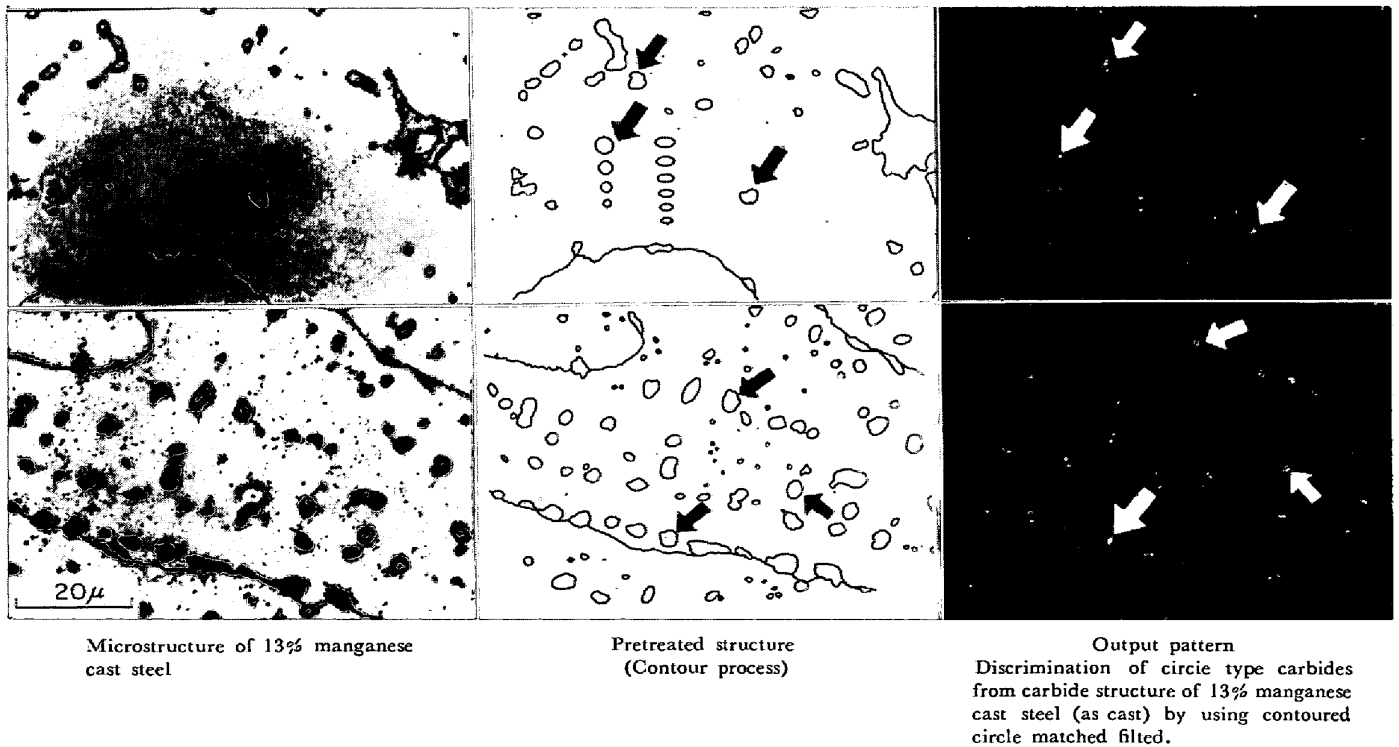


Fig. 6. Discrimination of carbides in 13% manganese cast steel by optical matched filtering method.

いことが認められる。

つぎに、Fig. 5 に、コンター化したモデルパターンについて、測定を行なった結果を示す。この場合、測定に先だつて、モデルパターンを線画化した。この線画化は、Agfa 社のコンターフィルムを用いた。Fig. 5 の出力像は、小さい○型をマッチドフィルターとした場合で、大きい○型と小さい○型が比較的良好に分離されていることが認められる。すなわち Fig. 4 の出力像に比較して、分離能力が大きい。

実際の金属組織への応用として、13% 高マンガン鋳鋼の鋳放し材に観察される炭化物の形状判定を行なった。Fig. 6 は、標準パターンとして○型とした場合、標準パターンに近い形状の炭化物が存在する対応位置に矢印で示すように、出力像が輝点として得られる。この出力像からみて、比較的良好にパターンの識別が行なわれていることが認められる。

3. 考察および結論

1. モデル実験から、この方法で、形状識別する場合処理パターンをコンター化の方が、識別能力が増加することが認められた。そこで、測定に先だつて、標準パターン、測定パターンなどについて、コンター化処理を行なう方が望ましいといえる。

2. 金属組織を処理する場合、識別用の標準パターンを用意しなければならない。一般的には、識別の目的によつて、形状、大小、分布などの標準図を作製しなければならない。本実験では、円状のモデルを標準として、炭化物組織形状の分離検出を行なったが、炭化物組織の大小の分離検出については、測定パターンの観察倍率によつて分離能力が変化するので、注意する必要がある。

3. 金属組織の識別は、できるだけ、実時間、オンライン処理が望ましいが、現在の方法では、入力パターンの前処理、マッチドフィルターの作製など、オフラインの要素が多く、処理時間が長い欠点がある。本実験では、識別に要する時間のほとんどを、写真処理に費した。すなわち、コンターフィルムによる処理に約 10 min、またマッチドフィルターの作製には、約 10 min 程度であった。そこで、コンター化の方法として電子計算機による処理、ホログラムの記録媒体として、フィルムを使用しない方法などを応用し、処理時間を短くする必要がある。またオプティカルマッチドフィルターは画像信号の検出には、きわめて有力な方法であるが、出力信号が暗

いことも、欠点の1つである。したがつて、出力面での信号量の測定には注意する必要がある。

文 献

- 1) STEREOLOGY: Proc. Second. Int. Cong. for Stereology, edited by H. Elias. New York (1967)
- 2) W. A. JOHNSON: Metal Prog., 49 (1954) 1, p. 87
- 3) A. G. SPEKTOR: Zovod. Lobe., 16 (1950) 2, p. 173
- 4) W. M. WILLIAMS and C. S. SMITH: Trans. AIME, 194 (1952), p. 755
- 5) G. W. LORD and T. F. WILLIS: ASTM Bulletin, 177 (1951) 8, p. 57
- 6) C. S. SMITH and L. GUTTMAN: J. Metals, 5 (1953) 1, p. 81
- 7) E. E. UNDERWOOD: Trans. ASM, 54 (1961), p. 106
- 8) R. T. HOWARD and M. COHEN: Trans, AIME, 172 (1947), p. 413
- 9) J. H. BROPHY and M. J. SINNOTT: Trans. ASM, 54 (1961), p. 65
- 10) J. W. CAHN and R. L. FULLMAN: J. Metals, 8 (1956) 4, p. 610
- 11) L. L. WYMAN and G. A. MOORE: Modern Castings, 2 (1963), p. 227
- 12) R. J. ALLIO and C. H. RANDOLL: Trans. AIME, 224 (1962) 2, p. 221
- 13) 草川, 中田: 鋳物, 35 (1963) 4 別, p. 38, 40
35 (1963) 9 別, p. 70
36 (1964) 4 別, p. 15
36 (1964) 9 別, p. 797
- 14) 中田: 鉄と鋼, 54 (1968) 10, p. S525
- 15) Quantitative Microscopy: edited by R. T. DETTOFF and F. N. RHINES
New York, McGraw Hill (1968)
- 16) 中田, 飯坂, 中村: 鉄と鋼, 58 (1972) 4, S.161
- 17) S. LOWENTHAL and Y. BELVAUX: Revue d'optique, 46 (1967), p. 1
- 18) R. A. BINNS, A. DICKINSON, and B. M. WATRASIEWICZ: Appl. Optics, 7 (1968), p. 1047
- 19) E. MAROM: Appl. Optics, 9 (1970), p. 1385
- 20) E. MAROM: Bendix Tech. J., 2 (1969) 2, p. 39
- 21) A. V. LUGT: IEEE. Trans. Inform. Theory, IT-10 (1964), p. 139
- 22) A. V. LUGT, F. B. ROTZ, and F. A. KLOOSTER: "Optical and Electro-Optical Information Processing", MIT-Press. Cambridge, Mass. (1965)
- 23) J. W. GOODMAN: "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill, New York (1968)