研 究

光 偏 向 に よ る 加 工 の 基 本 特 性*

——レーザによる薄膜加工の研究 (第4報)——

高 本 喜 一** 中 山 了**

Fundamental Characteristics of Holes Machined with a Deflected Beam

——Study on Laser Machining of Thin Films (4th Report)——

Kiichi TAKAMOTO, Satoshi NAKAYAMA

The characteristics of holes machined by a deflected laser beam are investigated theoretically, from the point of view that the variation of beam power profiles caused by the deflection of a beam can be represented by the change of beam spot sizes. The practical applicability of the theoretical results is shown by the experiment on the machining of a thin chromium film with a Q-switched laser oscillated in a single transverse mode. The results obtained are as follows:

1) It is possible to minimize the change of hole diameters with an increase in beam spot sizes by adequately choosing the irradiation condition, which can be obtained theoretically.

2) By removing a focusing lens sufficiently far from the laser cavity, holes with diameter as fine as $5\mu\text{m}$ can be machined by the long focus lens suitable to combine with a beam deflector.

3) With respect to the distance from the center to the position at which the hole diameter is almost the same as that at the center, it is the longest when a deflected laser beam has the irradiation power 3~4 times the threshold one required for machining. This experimental result fairly agrees with the theoretical one.

1. 緒 言

電子部品などの製造において、非常に多数の微細な穴やみぞを、レーザによって金属薄膜上に高精度かつ高速度で加工することが要求されている。このため、試料台を機械的に移動する方法と光偏向によるビーム走査とを組合わせて加工することが考えられている。

これまでの薄膜除去加工の試み¹⁾では、ビーム特性は加工装置に特有のものとして、微細な加工寸法は焦点距離5mm前後の短焦点レンズで得ている。しかし、短焦点レンズでは光偏向と組合わせた場合、口径が小さいため非常に狭い範囲しか偏向できず、また作動距離が短いので加工物の飛散によるレンズの汚染が生じやすいなどの問題がある。ビーム走査による加工を可能にするためには、まずこれら問題点の解決を図るとともに、光偏向による加工の特殊性を十分に理解して、より有効な装置構成、適切な加工条件などを設定しうるようにしておくことが重要である。

そこで、本報では、光偏向法を用いる上で望ましい長

焦点レンズを使用しても微細加工が可能になる条件を、ガウスビームに関する理論などから求めた。つぎに、偏向したビームをレンズに入射させることによって生じるビーム集光状態の変化をビーム・スポットサイズの変化に置き換えて、それらが加工特性に及ぼす影響を検討した。これにより、良好な加工状態が得られる偏向範囲を最大にする加工条件の存在が明らかになった。

2. 理論解析

2.1 ビーム・スポットサイズの微小化

ガウス分布をした熱入力を薄膜表面に加えると、薄膜の温度分布もほぼガウス型となり、加工穴半径 R と各要因の間にはつぎの関係が成立する^{2), 3)}。

$$\frac{R}{\omega_t} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\log_e \frac{P_o}{P_{o,m}} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ただし、 ω_t : 温度分布のスポットサイズ

P_o : 照射出力

$P_{o,m}$: 加工限界出力

ω_t と $P_{o,m}$ は、ビーム・スポットサイズ ω_f と材料特性の関数であり、これらの関係は温度解析から求まる³⁾。

上式によると、照射出力比 $P_o/P_{o,m}$ を変えることにより任意の加工径が得られる。しかし、実際にはレーザの

*原稿受付 昭和47年3月24日。昭和46年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和46年11月7日)にて発表。

**正 会 員 日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所(武蔵野市緑町 3-9-11)

図 1 ガウスビームの伝ばん

発振出力が変動するので、高精度の加工径を得るための照射出力比は2以上になる。これは R/ω_t を $1/2$ 以上にすることに相当する²⁾。したがって、加工径の目標値に対して適切な ω_t の値が存在する。 ω_t は ω_f の増加関数であるので、長焦点レンズによって微細加工することは、薄膜に入射するビームのスポットサイズ ω_f をどのようにして微小化するかということに帰着する。

単一横モード発振しているレーザービームのパワー密度分布 $P(r)$ は、

$$P(r) = \frac{2P_o}{\pi\omega_f^2} \exp\left(-\frac{2}{\omega_f^2} r^2\right) \quad (2)$$

とガウス型に表わされる³⁾。ここで、 r は中心からの距離である。このようなパワー分布をしたビームが伝ばんするようすを図1に示す。このビームの各パラメータの間にはつぎの関係式が成立する⁴⁾。

$$\omega_f^2 z = \omega_o^2 \left\{ 1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi \omega_o^2} \right)^2 \right\}, \quad \theta = \frac{\lambda}{\pi \omega_o} \quad (3)$$

$$\frac{1}{\omega_f^2} = \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \left(1 - \frac{z}{f} \right)^2 \theta^2 + \frac{1}{f^2 \theta^2} \quad (4)$$

ここで、 ω_{fz} : レンズに入射するビームのスポットサイズ

ω_o : ビーム・スポットサイズの最小値

z : ω_o の位置から集光レンズまでの距離

λ : ビームの波長

θ : ビームの開き角

ω_{fo} : 最小集光スポットサイズ

f : 集光レンズの焦点距離

さらに、 ω_{fo} の位置は焦点面とは一致しなく、集光レンズから ω_{fo} までの距離 z_m は、式(3)、(4)などから

$$z_m = f + \frac{\omega_{fo}^2}{\omega_o^2} (z - f) \quad (5)$$

と求まる。なお、 ω_{fo} の位置から試料表面までの距離 z_d を試料位置と定義する。

集光照射ビームのスポットサイズは、式(4)より、 θ 、 λ などのビーム特性または f 、 z などの装置構成によってその大きさを調節できる。発振ビームの特性を共振鏡の曲率半径などにより広範囲に変えることには限界があり、実際には使用するレーザー装置によって θ 、 λ 、 ω_o は

図 2 照射出力と加工径の関係 (理論値)

一定であると考えられる。一方、 z や試料位置によりビーム特性を変化させるのは容易である。

したがって、長焦点レンズで微細加工をねらう場合、 z を大きくすれば短焦点レンズで集光したのと同様に微小な ω_{fo} が得られる。 f 、 z の値に対応する ω_{fo} の値を式(4)から算出し、スポットサイズ ω_{fo} のビームを薄膜表面に照射した場合の温度分布のスポットサイズ ω_t および加工限界出力 $P_{o,m}$ を温度解析によって求めれば、これらの値を式(1)に代入して、 z と加工特性の関係を明らかにできる。 $f=16.5$ mm 一定とした場合を図2に示す。 $z=600$ mm では照射出力による加工径の変化が著しいが、 z を大きくすると、加工径が変化する割合は減少する。高精度の加工径が得られる $P_o/P_{o,m}=2$ の所での加工径は、 $z=600$ mm では $10 \mu\text{m}$ であるが、 $z=1400$ mm では $5 \mu\text{m}$ 、 $z=2500$ mm では $3.5 \mu\text{m}$ となり、長焦点レンズでも $5 \mu\text{m}$ 以下の加工径を得ることが可能になる。

このように共振器と集光レンズとの距離によっても最小集光スポットサイズを制御でき、したがって光偏向との組合わせに望ましい長焦点レンズでも微細加工ができる。

2.2 ビーム・スポットサイズの変化と加工特性

試料面を最小集光スポットサイズ ω_{fo} の位置に一致させ、偏向したビームを集光照射すると、ビームの集光状態は偏向角によって変化する。この変化には試料位置を移動したことに相当するものも含んでいる。そこで、まず試料位置と加工特性の関係を検討する。

式(3)の ω_o 、 z に ω_{fo} 、試料位置 z_d をそれぞれ代入すると、 z_d における ω_f の値は

$$\omega_f = \omega_{fo} \left\{ 1 + \left(\frac{\lambda z_d}{\pi \omega_{fo}^2} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

と求まる。この ω_f に対応する加工特性は、温度解析と式(1)から得ることができる。試料位置と加工径の関係を図3に示す。ここで、 ξ は照射出力比 $P_o/P_{o,m}(\omega_{fo})$ である。また、試料位置とビーム・スポット径 $2\omega_f$ の関係も点線で図示してある。 $z=600$ mm の場合、試料位置による ω_f の変化が小さいので、加工径の変化も小さい。

薄膜: Cr 0.1 μm, 基板: パイレックスガラス
f=16.5 mm, θ=1.2 m rad

図 3 試料位置と加工径の関係 (理論値)

このため、試料位置を $\pm 50 \mu\text{m}$ の範囲にすれば、加工径の精度は 5% 以内になる。一方、 $z=1400 \text{ mm}$ の場合、 ω_f が試料位置によって激しく変化するため、加工径は試料位置の影響を強く受ける。 ξ が 25 以上あるいは 2 以下の場合には、加工径精度が 5% 以内になる試料位置の範囲は $\pm 15 \mu\text{m}$ と非常に狭い。しかし、 $\xi=5$ とすると、試料位置 $\pm 50 \mu\text{m}$ の範囲で加工径はほぼ一定になる。

一般に、 z を大きくして ω_{fo} を微小化することによって、見かけ上の焦点深度は非常に浅くなる。しかし、 ξ を適切な値に設定すると、 ω_f の広がりによる ω_t の増加と $P_o/P_{o,m}(\omega_f)$ の減少とがバランスして、式(1)からわかるように加工径はほぼ一定となる。したがって、このような条件で加工すれば、見かけ上の焦点深度が非常に深くなるため、ビームを偏向したことによる集光位置の移動が加工径に及ぼす影響を最小にすることができる。

つぎに、見かけ上の焦点深度が最大になる条件は、 ω_f の変化に対して加工径がほぼ一定になる条件でもあることに着目して、この加工条件を理論的に求める。

式(1)などから、加工穴半径 R を精度 $\pm \Delta R$ で加工するためには、ビーム・スポットサイズ ω_f と照射出力 P_o は図 4 にモデル的に示すような点線で囲まれた範囲を満足する組み合わせでなければならない。この図より、 ω_f の変化に対して加工径一定の範囲を最大にする照射出力は、加工穴半径が $R \pm \Delta R$ の範囲にあり、かつ ω_f の変化が最大になる照射出力 P_a である。また、 ω_f の変化が増加する傾向にあるとすれば、当初に設定する ω_f の値は $(R - \Delta R)$ の曲線と $P_o = P_a$ との交点の最小値

図 4 加工穴半径 R を精度 ΔR で得る場合の ω_f と P_o の組み合わせ

ω_a である。すなわち、

$$\omega_f = \omega_a, P_o = P_a \quad (6)$$

という条件で加工すれば、 ω_f が ω_a から ω_b まで増大しても加工径は精度内にある。

R 一定の曲線において P_o の極小値を P_c 、そのときのスポットサイズを ω_c とすると、式(1)よりこれらは次式を満足する。

$$\frac{\partial P_o}{\partial \omega_f} = P_o \left(-\frac{4R^2}{\omega_f^3} \cdot \frac{\partial \omega_t}{\partial \omega_f} + \frac{1}{P_{o,m}} \cdot \frac{\partial P_{o,m}}{\partial \omega_f} \right) = 0 \quad (7)$$

ΔR は非常に小さいとすれば、 $(R + \Delta R)$ の曲線も $\omega_f = \omega_c$ で極小値 P_c をとる。したがって、式(1)から

$$P_a - P_c = \Delta P_c = \frac{4R^2}{\omega_c^3(\omega_c)} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot P_c$$

の関係が成立する。この式より、 P_a はつぎのように表わされる。

$$P_a = \left(1 + \frac{4R^2}{\omega_c^3(\omega_c)} \cdot \delta \right) P_c \quad \text{ただし、} \delta = \frac{\Delta R}{R} \quad (8)$$

また、 ω_a は式(1)、(8)から

$$\frac{R - \Delta R}{\omega_t(\omega_f)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\log_e \frac{P_a}{P_{o,m}(\omega_f)} \right)^{1/2} \quad (9)$$

を満足する ω_f の最小値として求める。

パイレックスガラス基板の膜厚 0.1 μm の Cr 膜について、温度解析から求まる ω_f と ω_t 、 $P_{o,m}$ との関係*および式(7)を用いて ω_c と P_c を算出し、さらに式(8)、(9)から加工径と ω_a 、 $\xi_a = P_a/P_{o,m}(\omega_a)$ との関係を求めると

*0.5% 以下の誤差で近似的に次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \omega_t &= 2.04 + 0.6259 \omega_f + 0.03665 \omega_f^2 - 0.001859 \omega_f^3 \\ &\quad + 0.00004587 \omega_f^4 \\ P_{o,m} &= 0.05684 \omega_f - 0.00007999 \omega_f^2 + 0.0007093 \omega_f^3 \\ &\quad - 0.00001737 \omega_f^4 \end{aligned}$$

ただし、 ω_t 、 ω_f の単位は [μm]、 $P_{o,m}$ の単位は [W] とする。

図5 加工径と ω_a および ξ_a との関係

図5のようになる。 ω_a , ξ_a の値は加工径の精度により異なり、精度 δ をきびしくするにつれて、 ω_a は大きく、 ξ_a は小さな値に設定する必要がある。見かけ上の焦点深度を最大にするためには、 ω_a は加工径の約1/2に、 ξ_a は3~4に設定すればよいことがわかる。

偏向したビームをレンズで集光した場合、球面収差などのため集光位置が偏向角とともに移動したり、あるいは非点収差などによって集光ビームのパワー分布が変化することが予想される。このようなビーム集光状態の変化をスポットサイズ ω_f の変化で置き換えることができれば、光偏向による加工特性に図5などの結果を適用してよく、照射出力比を3~4に設定することにより、良好な加工状態が得られる偏向範囲を最大にできると予想される。

3. 実験装置と方法および試料

使用した回転ミラー型QスイッチYAGレーザー装置は第2報⁴⁾と同じものである。回転鏡の曲率半径は1m、固定鏡の曲率半径は0.3m~ ∞ 、その透過率は2%とした。高次モード発振の抑制は、図1に示すように共振器の内側にしほりをそう入して行なった。そして、10 $\mu\text{m}\phi$ のピンホールを取付けた光電増倍管でビームを横切り、そのときの出力の変化から発振ビームのパワー分布を測定し、単一横モード発振していることを確認した。

集光レンズには顕微鏡用対物レンズと単レンズを用いた。それらの仕様を表1に示す。集光ビームのスポットサイズの微小化などは、収差が非常に少ないと考えられ

表1 集光レンズの仕様

	称呼倍率	焦点距離 (mm)	開口数	口径 (mm)
対物 レン ズ	5×	26.5	0.10	5.3
	10×	16.5	0.30	10.4
	40×	5.0	0.40	3.8
単 レン ズ, ** $q=0$		20.0	—	12.0

** q : shape factor⁵⁾

る顕微鏡用レンズによって行なった。最小集光スポットサイズ ω_{fo} は、レンズで集光した後のビームのパワー分布を測定し、式(5)などを用いて z と ω_f の関係を求め、これらの値を式(3)に代入して算出した。光偏向は、レンズ口径の影響が無視できる範囲において、集光レンズの直前に置いた反射鏡の角度を変えて行なった。そして、偏向したビームを収差のは握が容易な単レンズで集光照射した。実験試料には、パイレックスガラス基板に蒸着した膜厚0.1 μm のCr膜を用いた。

4. 実験結果と考察

4.1 単一横モード発振と加工特性

理論解析の結果を実際の加工に適用するためには、まずガウス型のパワー密度分布をしたビームを得る必要がある。このため、高次モードの発振を抑制して、発振ビームの特性を測定した。

直径1.2~3mmのしほりを共振器内にそう入して、発振ビームのモードパターンをITVで観察した。しほり径が2mm ϕ 以上の場合、2重または3重のリング状をしたパターンになり、ビームは高次モードで発振している。一方、しほり径を1.5mm ϕ 以下にすると、円形のパターンが観察され、単一横モード発振している可能性があることがわかった。そこで、パワー分布を測定し、ガウス分布と比較した。その結果を図6に示す。しほりを用いない場合、 $r=1.4$ mmの付近にもう一つのピークがあり、パワー分布はガウス型ではない。しか

図6 パワー分布の測定例

し、 $1.5\text{ mm}\phi$ のしぼりをそう入した場合、パワー分布とガウス分布はほぼ一致している。このため、このビームに対して、式(3)、(4)などがどの程度まで成立するのかを求めた。

まず、ビームの開き角 θ について検討した。 θ を算出するためには、図1に示す最小スポットサイズ ω_0 の位置を求める必要がある。回転鏡と固定鏡の曲率半径をそれぞれ R_1, R_2 とすると、固定鏡から ω_0 までの距離 z_0 は次式で表わされる⁶⁾。

$$z_0 = \frac{g_1(1-g_2)}{g_1+g_2-2g_1g_2} \quad (10)$$

ただし、 L ：共振鏡間の距離

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1}, \quad g_2 = 1 - \frac{L}{R_2}$$

パワー分布の測定から ω_f を、また式(10)を用いて ω_0 の位置から測定点までの距離 z を求めれば、式(3)から θ が算出できる。たとえば、固定鏡の曲率半径が 1 m の場合は $\theta = 1.15\text{ mrad}$ 、 3 m の場合は $\theta = 1.08\text{ mrad}$ となる。さらに図7に示すように、パワー分布の測定によって求めた z と ω_f の関係から開き角 θ が定められる。その結果、図7による値は式(10)などから算出した値とほぼ一致している。したがって、開き角 θ は式(3)、(10)などを用いて算出できる。

つぎに、表1に示す対物レンズで単一横モード発振のビームを集光し、最小集光スポットサイズ ω_{f0} を測定した結果と、式(4)による理論曲線とを図8に示す。実験した範囲では、実験値と理論値はほぼ一致している。特に

$f = 16.5\text{ mm}$ の場合は非常によく一致している。これは、このレンズの口径が大きく、Airy disk の径が小さくなるためと考えられる。また $f = 5.0\text{ mm}$ の場合、 $z = 1580\text{ mm}$ で $\omega_{f0} = 1.4\text{ }\mu\text{m}$ となり、YAG レーザの波長 $1.06\text{ }\mu\text{m}$ の約 1.4 倍にまで集光されている。

以上から、共振器内にしぼりをそう入して発振させたビームを、顕微鏡用対物レンズで集光すれば、式(3)、(4)、(10)などの成立するビームが得られる。

距離 z をパラメータとして、単一横モード発振のビームを $f = 16.5\text{ mm}$ のレンズで Cr 膜に集光照射した場合の加工特性を、理論曲線とともに図9に示す。実験値と理論値は非常によく一致し、それらの相違は $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下と小さい。照射出力比 $P_0/P_{0,m} = 2$ における加工径は、 $z = 1540\text{ mm}$ では $5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $z = 2500\text{ mm}$ では $3.5\text{ }\mu\text{m}$ となる。したがって、理論的に求めた条件を用いて、長焦点レンズによる微細穴加工を実現できることがわかる。

4.2 試料位置、光偏向と加工特性

試料位置と加工径の関係を図10に示す。 $z = 620\text{ mm}$ の場合、試料位置による加工径の変化はわずかである

図7 z と ω_f の関係

図8 z と ω_{f0} の関係

図9 照射出力比と加工径の関係

薄膜: Cr $0.1\text{ }\mu\text{m}$, 基板: バイレックスガラス
 $f = 16.5\text{ mm}$, $\theta = 1.2\text{ mrad}$

図10 試料位置と加工径の関係

薄膜: Cr $0.1\ \mu\text{m}$, 基板: バイレックスガラス $f=20\ \text{mm}$, $z=2000\ \text{mm}$, $\theta=1.2\ \text{mrad}$, $P_{0,m}=0.88\ \text{W}$

図 11 偏向角と加工状態の関係

が, $z=1540\ \text{mm}$ になると, 加工径は急激に変化する。そして, 照射出力比 ξ が 4 前後において, 見かけ上の焦点深度が最大になる傾向がある。これら傾向は理論的に求めた図 3 ともよく一致する。また試料位置が $\pm 0.15\ \text{mm}$ の範囲における加工径は, 理論値とほぼ一致する。

つぎに, 集光レンズに表 1 の単レンズを用い, 偏向したビームにより加工した場合の加工状態を図 11 に示す。照射出力比 ξ が 30 の場合, 偏向角 0 の付近での加工穴は円形であるが, 偏向角が大きくなるにつれてレンズ収差の影響が顕著になり, 加工穴はだ円形になる。 ξ を 4 と小さくすると, 偏向角 $50\ \text{mrad}$ まで加工穴は円形であり, 加工径もほぼ一定になる。さらに ξ が 1.8 と小さい場合, 偏向角 $40\ \text{mrad}$ 以上において, 加工穴は小さくなっていく。このような加工状態の変化から, 偏向したビームを集光照射すると, パワー分布のその部分はだ円形となり, ガウス型ではないが中心部はガウス分布に近いことがわかる。したがって, 光偏向法を用いた場合のおもな加工特性に対して, ビーム・スポットサイズの変化によって考察した 2.2 節の結果を適用してもさしつかえない。

偏向角と加工径の関係を図 12 に示す。 ξ が大きい場合, 良好な加工穴が得られる範囲は非常に狭いが, ξ を小さくするとこの範囲は広がり, $\xi=4$ で最大となる。 ξ がさらに小さくなると, その範囲は再び狭くなる。このように, 光偏向によって加工する場合, 良好な加工状態が得られる範囲を最大にする加工条件が存在する。

図 12 偏向角と加工径の関係

表 2 実験で得られた最大の偏向範囲

z (mm)	$\omega_{f0}(\mu\text{m})$ (理論値)	加工径 (μm)	偏向範囲 (mm)	照射出力比 ξ
500	10.5	21~24	± 1.2	3~4.8
1000	5.6	15	± 1.1	3.2
1500	3.8	12	± 1.2	3.0
2000	2.8	10	± 1.0	4.0

実験によって得た最大の偏向範囲およびそのときの照射出力比 ξ などを表 2 に示す。距離 z が $1000\ \text{mm}$ 以上

の場合、加工径は ω_{fo} の理論値の約 3 倍である。図 5 では加工径が ω_a の約 2 倍であることから、単レンズでビームを集光した場合には、収差によって ω_{fo} が理論値の 1.5 倍程度になると考えられる。偏向範囲が最大になる ξ の値は 3~4 の範囲にあり、これは理論的に求めた条件とよく一致する。また、このように単レンズを用いても照射出力比を 4 付近に設定して光偏向を行えば、加工径 $10\ \mu\text{m}$ で $\pm 1\ \text{mm}$ と比較的広い範囲を加工できる。

以上から、レンズ収差などによって変化するビーム・スポットサイズに対して、加工径一定の範囲を最大にできる照射出力比が存在することが、理論と実験から確認できた。

5. 結 言

光偏向法を薄膜加工に応用する際の基本特性を明らかにするため、まずビーム特性が加工特性に及ぼす影響などを理論的に求め、つぎに単一横モード発振させたビームを Cr 膜に集光照射し、実験値と理論値を比較検討して、以下に要約する結果を得た。

1) ビーム・スポットサイズの変化に対して加工径一定の範囲を最大にする加工条件が存在し、その条件は理論的に求めることができる。

2) 共振器と集光レンズとの距離を長くすることによって、焦点距離 $16.5\ \text{mm}$ の長焦点レンズでも $5\ \mu\text{m}$ 以下の加工径を得ることができる。

3) 偏向したビームを Cr 膜に集光照射すると、良好な加工状態が得られる偏向範囲が最大になる照射出力比は 3~4 であり、理論的に求めた条件とよく一致する。

4) 照射出力比を 4 付近に設定し、偏向したビームを焦点距離 $20\ \text{mm}$ の単レンズで集光して、Cr 膜上に加工径 $10\ \mu\text{m}$ で $\pm 1\ \text{mm}$ の範囲を加工できる。

おわりに、平素ご指導いただいている当所の木鉛 馨氏に深く感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) M. I. Cohen, B. A. Unger, J. F. Milkosky: Laser Machining of Thin Films and Integrated Circuits, Bell Sys. Tech. J., **47**, 3 (1968) 385.
- 2) 中山 了, 柏原 稔: Q スイッチ YAG レーザの集光照射特性, 精密機械, **36**, 10 (1970) 690.
- 3) 高本喜一, 中山 了: ガウス型熱入力による温度分布, 精密機械, **37**, 12 (1971) 901.
- 4) 中山 了, 斎藤保直, 高本喜一: 加工限界パワーと材料特性, 精密機械, **37**, 8 (1971) 578.
- 5) F. A. Jenkins, H. E. White: Fundamentals of Optics, McGraw-Hill, N.Y. p. 135.
- 6) A. E. Siegman: An Introduction to Lasers and Masers, McGraw-Hill, N.Y.

情 報

(40 頁よりつづき)

ひとつとしてデルファイ法が広く活用されているが、とくに最近では T A 思想の高まりで、デルファイ法の利用分野は一段と拡大されてきているといわれる。工業技術院も 46 年度にデルファイ法を駆使し、技術テーマの重要度を数字で示す「研究開発の定量的評価手法」を初めて完成、こんごの大型プロジェクト制度で取上げる開発テーマの選定に応用する意向のほか、一部企業でも導入する動きを示すなど注目されている。

この評価手法によれば、たとえばイオン注入 I C (集積回路) 製造装置、超高速パルスモータ、家庭用ファクシミリなどの技術は社会的効果、商品の国際化、投資効果などの点からみて、非常に適合性が高いなどの分析結果がでている。

しかし、定量的評価手法にも技術と技術の関係をどのように位置づけるか、また技術と技術の相互関係を定量

的に知るうえで、なお不備な面があるという。これに対し、最近のひとつの技術を開発した場合、それが他の技術に与える影響を知ることが、技術の社会や経済に与える波及効果のうえからも重要とされていた。

このため工技院は技術調査課が中心になって、こんごクロス・インパクト・マトリックス法を使い 1 年計画で個々の技術の相互関係を掌握する作業を始めることにした。この作業では、まず特定の技術テーマを選び、その技術と他の技術の関連度についてアンケートにより各分野の有識者から意見を聞き、これを分析して“技術連関表”という形で具体化する計画。この作業が終了すれば産業界の技術開発の方向づけや、より一層開発を促進する技術テーマの割出しも可能になるわけで、この成果が期待される。

(服部 敏夫)