放電微細加工における加工くずの役割*

増 沢 隆 久** 佐田登志夫*** 木下夏夫***

The Role of the Chips in Micro-EDM

Takahisa MASUZAWA, Toshio SATA, Natsuo KINOSHITA

This paper deals with theoretical analysis of the relations among discharge, short, and the chips (together with the other solid products) in the gap. Two important assumptions are proposed. 1) The discharge frequency $f(t)$ is determined by the density or the total amount of the chips which are remaining in the gap, in micro-machining and finishing. 2) Too high density of the chips causes short circuit. Then, a simulating calculation is performed of the density distribution $m(x, t)$, based on the diffusion theory and the above assumptions. The density distribution and other characteristics of the gap states given by the calculation agrees closely with the result of the experiment which was performed for comparison.

Many difficult problems of gap phenomena in EDM (area effect etc.) are explained with the gap model lead from the results. In this model the conditions of stable discharge repetitions can be determined from the intercourse point of two curves, which are the relations of producing rate and flowing-out rate to the total remaining amount of the chips. Dynamic informations of the gap states are also obtained by the calculation.

1. 緒 言

放電加工を行なっている時、極間隙に存在するものは単なる絶縁液ではない。その中には種々の成分（電極や工作物物質の蒸気、絶縁液の分解生成気体、絶縁液の蒸気など）の気泡と、除去された電極および工作物の微粒子、絶縁液の分解生成物の微粒子（灯油では炭素が主と考えられる）などの固体が多量に存在している。これらは絶縁液そのものとは電気的性質をまったく異にする物質であるから、放電または絶縁破壊という電気的現象を前提とする放電加工に対して強い影響を与えていることは明らかであろう。しかも固体微粒子は多く導電性物質であるからその影響は直接的でかつ非常に大きいことが予想される。それにもかかわらず、現在までこれらについては気泡の物理的挙動に関する発表が多数ある以外にほとんど研究らしい研究は行なわれていない。特に、固体成分（以下加工くずと総称する）については、それが加工に影響していることは誰も認めながら、その放電とのかかわりあいについての研究は観察、測定の高難のため皆無に近い。

本研究では、極間隙に存在する加工くずについて、微細加工領域における実験に基づいてその放電・短絡など

の現象とのかかわりを追究する。

2. 現象単純化の実験

種々の条件で放電微細加工を行なうと、つぎのような現象が認められる。

- 1) 放電頻度は多くの場合電源の可能最大頻度より小さいところに安定に加工できる限界があり、それ以上にしてようとすると短絡する。
- 2) 極間対向面積が狭いほど安定時の放電頻度が小さい（普通加工域でも同様の現象がある）。
- 3) 極間対向面積が広すぎると極間距離をどのように調節しても短絡を繰り返すのみで加工ができない。
- 4) 孔加工において電極が深く入ると短絡を繰り返すようになり加工がほとんど進まなくなる（普通加工域でも似た現象が観察される）。

しかし、普通の加工状態では、極間形状（電極と工作物の間にはさまれた空間の形状）も複雑であり送りサーボによる極間の時間的変化も加わって現象が捕えにくい。そこで、現象がより単純な形で捕えられるような実験を行なった。

2.1 実験方法

極間形状に関する要素をへらすため、平面の工作物に円柱状の電極の端面が平行に対向している形とし、時間的変化の複雑化を避けるため電極送りはかけないことにした。

まず、極間距離を必要な値に固定し、つぎに電源スイ

*原稿受付 昭和46年 5月17日。昭和46年度精機学会春季大会学術講演会（昭和46年 4月 5日）にて発表。

**正 会 員 東京大学生産技術研究所（東京都港区六本木7-22-1）

***正 会 員 東京大学工学部（東京都文京区本郷 7-3-1）

ッチを投入し放電を開始させる。放電開始時からの極間電圧の変化をシンクロスコープの掃引速度を遅くして観察した。

放電パルスは非蓄勢式従属インパルス回路¹⁾によるパルス幅約 $0.5 \mu\text{s}$ 、電流ピーク値約 3.3 A の正弦波に近い波形で、最小繰返し周期約 $1 \mu\text{s}$ である。電極は銅、工作物は超硬合金 STi 20、加工液は灯油を用いた。極間は実験 1 回ごとに清浄にした。

2.2 実験結果

電極の直径が 0.5 mm および 1.15 mm の二つの場合について、極間距離を変えて電圧波形を撮影した。電極径 1.15 mm の場合の一例を図 1 に示す。ここに見られる放電繰返しの経過を図 2 により説明するとつぎのようになる。

最初に電圧がかかると掃引が始まる(A)。時間とともに放電の繰返しが速くなる(B)。短絡する(C)。ここで、 80 V は電源電圧、 a はアーク電圧である。 80 V の位置の線がだんだん薄くなるのに対して $a \text{ V}$ の位置の線がだんだん濃くなること、すなわち放電している時間の割合が増してくること、両線の間の明かるさが増してくること、つまり電圧の上下する頻度が増してくることから放電の繰返しが頻繁になってくることがわかる。C 点以降では電圧が 0 となり、ここで短絡したことを示している。

このような経過は写真の (d) を除いて時間の差はあるがすべての場合に共通である。写真 (d) の条件では放電頻度がピークの後減少し、短絡には至らなかった。

図 1 電極送りをかけない放電の電圧波形

図 2 極間電圧波形の概観

これらの結果は加工くずのかかりについてつぎのように重要な意味を持つと考えられる。

第 1 に、電極を送り込まずかつ極間になんらの操作も加えず、さらに電源の可能な放電頻度は一定であるにも関わらず、時間とともに放電頻度が増している。このことは放電が起こったことによって生じた極間状態の変化が放電頻度を増大させたことを意味している。放電によって生ずる変化のうち、電極または工作物の面の除去は極間距離を平均して大きくするので頻度増大の原因になるとは考えにくい。また、気泡の発生などもどちらかといえば逆の効果があると考えられる。したがってこの現象の要因としては放電により生じた加工くずを考えるのがもっとも確からしい。

第 2 に、極間距離の設定値が特に大きい場合を除き、電極に送りをかけないのに必ず短絡に至っている。もし短絡が電極と工作物の直接の接触により起こるとすると、放電によってそれだけ両面の変形が起こらなければならないが、放電によってはおおむね電極面はへこむものであって、多少の盛上がりクレータ周辺にあったとしてもその大きさは小さく、この条件では短絡の原因と見るのは困難である。したがってこれも加工くずの増加によるものと考えられるべきであろう。

なお、短絡に至るまでの時間は図 3 (電極径 0.5 mm) に示すように極間距離の大きいほど長い。また、 3μ 以上の場合には短絡せず長時間放電が続き、終了時には極間距離が約 4μ に増大した。電極径が 1.15 mm の場合も写真からわかるように同じ傾向であり、 4μ 以上で短絡しない。そしてもう一つ注意すべきことは、どちらの場合も極間距離 3μ 以上では、最初極間に汚れた液が(つまり加工くずが)存在しないと電圧を加えても放電開始しない場合が多いことである。

以上の結果および実際の微細加工における諸現象か

図 3 極間距離と短絡までの時間との関係 (電極径 0.5 mm)

ら, 加工くずと放電, 短絡との関係はつぎのように予想される。

- 1) 放電頻度は加工くずの量 (または濃度) に支配される。
- 2) 加工くずが増えすぎるとそれを通して短絡がおこる。

3. 極間加工くずモデルとシミュレーション計算

これまでで放電, 短絡の状況がかなりはっきりとつかめたが, これらを確認し, その法則を知るために実際の加工中の極間における加工くずのようすを直接観察, 測定などすることは難かしい。そこで, 上の予想に基づいて加工くずと放電の関係を表わすモデルを仮定し, 繰返し放電のシミュレーション計算を行ない, これによる諸現象の説明を試みた。

3.1 仮定

前節でわかった諸事項や放電加工の一般性に矛盾しない範囲で, 計算を簡単にするためにつぎの仮定をおいた。

1) 極間を1次元で考えることにする。すなわち, 図4において y 方向は無限に一樣とし, その単位長さについて考える。また, z 方向は極間が十分狭いことから加工くずのちらばりかたは一樣であると考え。したがって加工くずの分布は x 方向のみを考える。

2) 放電による加工くずの発生を瞬間的に x 軸上の点 x_d に一定の大きさの加工くず濃度源が発生したものと考える (2次元的に見れば y 軸方向に無限の長さを持つ瞬間線濃度源である)。

3) 発生した加工くずは拡散によって広がり, 極間隙の両端 (図4, A, B) で濃度0になるとする。

4) つぎつぎと起こる放電により発生する加工くずの濃度分布はそれぞれの単発による分布を重ねあわせたものであると考える。

5) 放電時間間隔は加工くず濃度 $m(x)$ の積分値 $\int_A^B m(x) dx$ に支配されるものとする。

6) 放電の起こる位置は, 加工くず濃度 $m(x)$ と同じ分布で random であるとする。

3.2 加工くず濃度分布 $m(x, t)$ の計算方法

まず最初に加工くずの拡散の式を導く。図5のように

図4 座標のとり方

図5 加工くずの拡散

微小区間 $[x, x+\Delta x]$ を考える。時刻 t から $t+\Delta t$ の間のこの区間内の加工くず量の変化を考えると,

$$\{m(x, t+\Delta t) - m(x, t)\} \Delta x = \alpha \left\{ \frac{\partial}{\partial x} m(x+\Delta x, t) - \frac{\partial}{\partial x} m(x, t) \right\} \Delta t \quad (1)$$

が成立する。ここで α は拡散係数である。

(1)より, 加工くずの拡散の基本式として

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} \quad (2)$$

を得る。

(2)式は熱伝導の基本方程式と同じ形をしているので, 境界条件 $m=0(x=0, x=a)$ のもとで瞬間点濃度源による濃度分布を計算することができる (区間 $[A, B]$ を $[0, a]$ ととる)。

この解は

$$m(x, t) = \frac{n}{2\sqrt{\pi\alpha t}} \left\{ \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x-x_d+2\nu a)^2}{4\alpha t}} - \sum_{\mu=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x+x_d+2\mu a)^2}{4\alpha t}} \right\} \quad (3)$$

ただし, n は瞬間点濃度源の強さである。

(3)式によってそれぞれの放電から時間 t 後の濃度分布が与えられるので, i 番目の放電の直前の濃度分布を m_i , j 番目の放電により生じた加工くずが i 番目の放電の起きる時刻 t_i においてとる濃度分布を Δm_{ij} とすれば, 重ねあわせによって,

$$m_i = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta m_{ij} \quad (4)$$

となる。ところが Δm_{ij} は j 番目の放電位置を x_{dj} とすると式(3)において $t=t_i-t_j$, $x_d=x_{dj}$ とおけば求めることができる。したがって各放電の時刻と放電位置が与えられれば任意の i に対して m_i を計算することができる。

放電時刻は仮定の 5) に基づいてつぎの法則によるとした。

$$t_i = t_{i-1} + \frac{A}{M_{i-1} + n} + \tau_0 \quad (5)$$

ここで $M_{i-1} = \int_0^a m_{i-1} dx$, つまり M は極間の総加工くず量に相当する。 A は極間距離によって定まる定数である。また、 τ_0 は電源によって決まる放電繰返し最小周期である。

i 番目の放電位置は式(5)によって決まった放電時刻における濃度分布 $m(x, t_i)$ と同じ x 方向の分布を持つ乱数 z ($0 < z < a$) によって決定した。この決め方によると長時間の加工に対しては濃度の高い位置の極間距離が増大し、仮定 1) が成り立たなくなる恐れがあるが、前節の実験のような場合には短絡するまでに起こる放電の回数が少なく、極間距離の変化は無視できると考えてよいであろう。また、実際に何回も同じ電極面で実験した場合には中央がへこむ傾向が観察されたので、この仮定がむしろ正しいと考えられる。乱数のとり方は棄却法²⁾ によった。

以上のようにして式(3), (4)により加工くず濃度分布の計算を行なうが、無限級数では計算に無限の時間を要するので式(3)の ν と μ は $\nu=0, \pm 1, \mu=0, -1$ のみによって近似計算を行なった。この近似でも $a^2/(4\alpha t)$ があまり小さくなければ計算誤差は小さい。また、 t や i が特に大きい時は誤差も大きく計算時間も長くなるので、 x_d の位置でピーク値

$$P = \frac{n}{2\sqrt{\pi\alpha t}} \left\{ \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(\nu a)^2}{4\alpha t}} - \sum_{\mu=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x_d + \mu a)^2}{4\alpha t}} \right\}$$

図 6 加工くず濃度のシミュレーション計算のフローチャート

($A=100, \tau_0=10, a=100, \alpha=1.2$)

図 7 加工くず濃度分布の変化

をとる直線分布で近似した。この場合は正しい分布より全体にやや小さい値となる。

電子計算機によりシミュレーション計算を行なう時のフローチャートを図 6 に示す。これによって、最初の放電位置 x_{d1} を与えると以下式(5)による t_i の計算(③), 式(3), (4)による m_i の計算, (④) および乱数による放電位置の決定(⑥, ⑦)を繰返すことにより、つぎつぎと極間の加工くず濃度分布が変化していくようすを知ることができる。計算は HITAC-5020 により行なった。

3.3 計算結果——諸パラメータの関係

図 7 に加工くず濃度分布 $m(x)$ が時間とともにどのように変化するか計算した一例を示す。この場合の条件は $A=100, \tau_0=10, a=100, \alpha=1.2$ である。また、直線分布の近似は用いていない。単位は長さが 5μ , 時間が μs である。 $a=100$ ということは 500μ の長さを考えていることになる。 α の値としてはやや乱暴ではあるが、 $500V\ 50\mu F$ のコンデンサ放電における気泡の移動初速度 $30\sim 40\text{ m/s}$ ³⁾ を参考に、放電から $0.1\mu s$ 後に距離 $1(5\mu)$ 離れたところの濃度が 0.1 となるように定めた。ただし加工くずは放電 1 回につき常に量 1 だけ発生するとした。気泡の移動初速度を参考にしたのは、加工くずの移動の原動力が主として気泡の運動による液のかくはんであると考えたからである。また $A=100$ ということは、式(5)より放電頻度が

$$f = \frac{M+n}{A+(M+n)\tau_0} \quad (6)$$

で与えられるので、 $\tau_0=10$ の場合には極間に放電 100 回分の加工くずが存在している時に可能最大頻度の約 9 割、つまり約 $9 \times 10^4 \text{ c/s}$ の放電頻度になることを意味している。これは極間距離の比較的小さい場合 ($1.5\sim 2\mu$) に相当するものと思われる (3.5 参照)。

図から、放電の回数が少ないうちは分布かたよった

り, 凹凸が激しいが, ある程度多数回放電してからは比較的なめらかな分布になることがわかる。

つぎに, これらのような曲線群から加工くず濃度のピーク値 $m_{\max}$, 極間加工くず量 M , 放電頻度 f (μs^{-1}) の三変数の時間的な変化および M と加工くず発生速度 σ (μs^{-1}) 加工くず流出速度 σ' (μs^{-1}) の関係を求めた代表的な例を図 8 に掲げる。この時の条件は図 7 と同じである。

まず, 下の三曲線は M , $m_{\max}$, f の時間的な変化を示している。これによれば M , $m_{\max}$ は次第に傾きを増しながら増大し, さらに時間がたつと再び緩やかな傾きとなり, $t=4\text{ ms}$ の辺ではほぼ飽和している (もし M または

図 8 加工くず量・濃度・放電頻度の変化と加工くずの発生, 流出速度

図 9 加工くず—放電—短絡モデルによる諸現象の説明

$m_{\max}$ がそれまでに限界を越えればそこで短絡が起こることになる)。また, 放電頻度 f は M や $m_{\max}$ よりも急激に増大し, 1 ms を少し越えた辺で飽和値の 9 割の値に達している。

つぎに, M と加工くず発生速度 σ の関係は式(6)より

$$\sigma = nf = \frac{n(M+n)}{A+(M+n)\tau_0} \quad (7)$$

であり, 上図の太い実線として仮定により与えられている。これと下図の $M-t$ 曲線から流出速度が

$$\sigma' = \sigma - \frac{dM}{dt} \quad (8)$$

によって計算でき, 上図の折れ線の結果が得られた。これから σ' は M に対してほぼ直線関係にあることがわかる。

以上から得られる結論はつぎのようにまとめられるであろう。

「加工くず量によって放電頻度が定まるという仮定に基づく $\sigma=M$ 曲線と, 条件によって傾きの定まる直線 $\sigma'-M$ の交点が放電繰返しの安定点である。したがって交点の M が短絡の起こる $M(M_s)$ とする)より大きければ安定点に至らずに短絡が起こる。また, 安定状態での M , f は σ と σ' の交点の σ から式(7)により決定され, $m_{\max}$ はその時の M , および σ' の傾きによって決定される。すなわち, 安定な加工の可能不可能および安定な状態での諸パラメータは σ と σ' がどこで交わるかによって決定される。

3.4 モデルによる諸現象の説明

前記の結果による $\sigma-\sigma'-M(t)$ の関係から加工において見られる諸現象の説明を試みる。

図 9 (a) は対向面積の影響をモデル的に表わしたものである。あらい近似で, a が倍になった時は $m_{\max}$ が倍になれば流出速度が変わらないと考える。つまり対向面積が倍になった時にも m の分布関数形が変わらないとして M が 4 倍の時同じ流出速度になるということである。

このように考えると、面積が狭い時に σ_1' であった流出速度が σ_2' に変わる。一方、面積が狭い時の短絡加工くず量 M_{s1} は面積が倍になった時、2 倍の M_{s2} に移る ($m_{\max}$ の値が同じと考えて)。したがって、面積の狭い時は σ と σ_1' の交点が M_{s1} の左側にあって安定点となるのに対して面積が倍になると σ, σ_2' の交点は M_{s2} の右側になるため、 M が M_{s2} に達した時に短絡してしまうことになる。すなわち面積が広すぎると短絡することが説明できる。

図 9 (b) は極間距離の影響を示すものである。極間距離が倍になると M が倍の時に加工くず濃度 (本来の意味の濃度 (L^{-3})) が等しくなる。しかし、極間が広がると同じ濃度でもそれだけ放電は起りにくくなるから (絶縁破壊電圧はおおむね極間距離に比例する) おおざっぱには M が 4 倍ぐらいになって初めて同じ放電条件になると考えられるので、 σ の曲線が σ_1 から σ_2 のように変わる。また、短絡加工くず量は単純に同じ濃度になった時としても 2 倍になるので、 M_s は M_{s2} またはそれより右に移る。したがって、極間距離が小さい時には σ_1, σ' の交点は M_{s1} よりはるかに右にあり短絡に至るが、距離が倍になると σ_2, σ' の交点は M_{s2} の左側になるため M_{s2} のような加工くず量変化となり、短絡せずに安定な放電繰返しが続くことになる。また、図 9 (a) と組合わせて考えれば、対向面積の大きい時には極間距離を広げればよいこと、および極間距離が広すぎると放電不可能な状態になると考えられるから、その限界でもなお短絡するような条件の時は安定状態を実現できないことがわかる。

図 9 (c) はやはり極間距離の影響であるが、極間距離を広げた時、短絡する範囲では短絡に至るまでの時間が長くなることを示している。 t_{s1} が極間の狭い場合、 t_{s2} が極間の広い場合である。これによって図 3 の実験結果がよく説明できる。

図 9 (d) は対向面積によって安定時の放電頻度が変わること示したものである。対向面積が狭い場合も広い場合も流出速度 σ_1', σ_2' と発生速度 σ の交点は安定点となっている。しかし、面積の狭い場合は交点における発生速度が σ_{a1} と小さいのに対して面積の広い場合は σ_{a2} となりはるかに大きい。つまり面積の狭い時に安定時の放電頻度が低下することになり、実際の加工での面積効果がよく説明できる。

以上の諸関係は実際に定数を変えてシミュレーション計算を行なった結果からも裏づけられた。

3.5 定量的考察

これまでで、ここに提案したモデルが実際の現象を定

図 10 実験条件での計算結果

性的に非常によく表現していることがわかったが、定量的にはさらに深い検討を要するであろう。特に α の決定が難しい点である。ここでは、はじめに述べた実験と、シミュレーション計算とを比較してみる。

一例として電極径 0.5 mm 、極間距離 1.5μ の場合を考えてみる。実験結果はばらつきが大きい、そのうちから平均的な一つの例を取出してみると、 $t \approx 0.5 \text{ ms}$ で f が可能放電頻度 $f_{\max}$ の約半分に達している。もし、あらい近似だが f が時間に比例して増大するとすれば、 $f_{\max} = 10^6/\text{s}$ として 0.5 ms までの放電回数は 125 回となる。そこで $t = 0.5 \text{ ms}$ の時に仮に 100 回分の加工くずが極間に残っているとすると、 $M = 100$ で $f = 1/(2\tau_0)$ になるということなので、 $\tau_0 = 1$ (実験条件)、 $A = 100$ の場合に相当することになる。対向面積としては誤差はあるが電極の直径を a として採用することにして、 $a = 100$ で計算してみる。 α は 2.3 の仮定を用いた。

計算結果を図 10 に掲げる。これによれば $M = 100$ となるのは約 0.7 ms 後で、その時の f は 0.5 であるから、仮定のあらさからするとかなりよく一致しているといえよう。つまり、 α の仮定はかなり実際の状態をあらわすものといえる。しかし定量的な面ではさらに多くの要素を考慮した研究が必要であろう。

3.6 放電位置の考察

最後に放電位置について簡単に考察しておく。放電位

置は, 短絡しない範囲内で m の大きなところほどよく放電するという考え方のもとに, 分布 $m(x)$ の乱数により決定したのであるが, これを一樣に Random な位置に放電するとして計算すると σ' の傾きが大きくなる. つまり加工くずの流出の強い状態となり, M の増大の仕方は遅く, 飽和量は小さい. このような放電位置の設定は短時間で短絡する場合や, 加工しはじめなどの過渡現象には適当ではないが, 電極送りをかけて安定に加工している定常的な状態を考える時には考慮する必要があるであろう.

4. 結 論

- 1) 二つの仮定: 「加工くず発生速度 (放電頻度 f と比例) は加工くず量 M に対して

$$\frac{M+n}{(M+n)\tau_0+A} \div \frac{M}{M\tau_0+A}$$

の形で表わされる, 「ある加工くず濃度以上では短絡がおこる」およびシミュレーション計算によりわかった性質「加工くず流出速度 σ' は M に対してほぼ直線的な関係にある」の三つから, 加工くずと放電・短絡の関係がよく説明できる. また, シミュレーション計算によって, 短絡に至るまで, あるいは安定な放電繰返しに至るまでの経

過が明らかになり, 実験とも矛盾しない結果が得られた.

- 2) このような加工くず理論を導いたことによって従来あいまいであったことが明快に理論づけられる. たとえば短絡対策としての極間を広げることと加工液を流すことはこの理論によれば効き方が異なる. つまり前者は σ を低下させるのに対して, 後者は σ' を増大させる. したがって液を流すことによって短絡防止をしたほうが大きな σ の値で (つまり加工速度の大きな条件で) 安定化が可能であることがわかる.
- 3) 加工くずを動的に捕えたことから, 電極送りサーボとの関連がよくわかる. たとえば極間の狭い状態では制御量が小さいことだけでなく, 加工くず濃度の変化速度が大きくなるためサーボの応答速度が不足して制御が困難になることがわかる.

文 献

- 1) 増沢, 佐田: 非蓄勢式従属インパルス放電加工回路, 電気加工学会誌, 4, 8 (1971) 35.
- 2) 津田: モンテカルロ法とシミュレーション, 培風館(1969) 26.
- 3) 橋口, 山本: 液中過渡アーク放電に伴う気泡の運動と衝撃力, 第52回電気加工研究会資料 (1968) 15.

情 報

(43 頁よりつづき)

〔工業, 資源部門〕

①連続制御ができる熱核融合炉の完成 (1993 年) ②人工衛星利用の世界的気象観測システム (1979 年) ③高速増殖炉実現 (1987 年) ④大型淡水化装置 (1987 年) ⑤水深 200 m 以上の海陸ダナで石油探掘 (1984 年).

〔社会開発部門〕

①環境汚染物質の人体への許容限度の究明 (1984 年) ②調査解析技術の進歩で国土開発による環境, 破壊の防止 (1992 年) ③一酸化炭素除去装置が開発され, 自動車の排気ガス公害が解決される (1977 年) ④水質汚濁防止の浄化装置開発 (1987 年).

〔情報部門〕

▽社会・経済からの要請

①公害情報処理ネットワークの確立 (1978 年) ②遠隔医療診断システム (1985 年).

▽情報技術

①大容量, 安価な超高速データファイルの実用化 (1984 年) ②漢字混り文の手書文字読取装置 (1983 年) ③コンピュータへ日常語でプログラミング命令 (1990 年) ④人間なみの早さで認識できるパターン認識技術 (1989 年).

▽基礎技術

①従来品と同定量, 同価格の電力容量が 10 倍ある電池の実用化 (1985 年) ②IC メモリのビット当りのコストが現在のディスク程度に下る (1982 年).

〔医療保健部門〕

①ガン治療法の進歩で死亡率が現在の 1/2 以下 (1988 年) ②有効な抗ガン剤開発 (1995 年).

〔食糧農業部門〕

①有害食品の敏速分析法の普及 (1980 年) ②安全な農業開発 (1984 年) ④コールド・チェーン 全国整備 (1982 年). (服部敏夫)