

# 超精密加工への勧誘

大阪大学工学部教授 津 和 秀 夫

## 1. はしがき

精機学会に超精密加工分科会が開設されてより5年、それが専門委員会に発展してから2年を経過した。幸にこの専門委員会は学界・産業界から熱烈な支持を得て順調な発展を遂げてきた。

超精密加工は、加工技術として最高の精度のところを目指す技術には違いないが、その考え方は「現在の加工精度をもう少し上昇する」ということの延長に外ならないので、広く一般加工法に採用して、製品の品質向上に役立たせることができる。

現在までわが国の生産技術がたどって来た道程は、多量生産によるコスト低減ばかりと云い得るほどに、品質の向上に対する努力がなされなかった。その結果は、現在各界に各種の問題と不均衡とをもたらし、70年代の曲り角を形成する一因ともなっている。

要するに、生産技術の分野では、過去に多量生産に対して燃やしたと同じ程度の情熱をもって、高品位生産に立ち向う必要がある。そのためには、高品位生産の最高峰としての超精密加工を知る必要があり、かつその実施や達成についての諸問題を考究して置かねばならない。以下には、この特集号の序論として超精密加工への勧誘の言葉を述べたい。

## 2. 超精密加工とその意義

### 加工の流れ

原材料に人智とエネルギーを加えて、それを有用な形のものに変形させることが加工であり、加工することの能力をもつことが人類の特技である。人類100万年の歴史は、とりもなおさず加工技術の進歩の道程といっても過言ではない。

とくに産業革命以降の華々しい科学文明発展の蔭には、常に加工技術の進歩があったことを忘れることはできない。新しい科学的な成果を応用して、新しい機械をつくり、これを大衆の便に供することによって、文化を進展させてきた。図1に示すように、機械の設計技術と加工技術が両輪として、ともに発展して始めて文化に貢献できたのである。

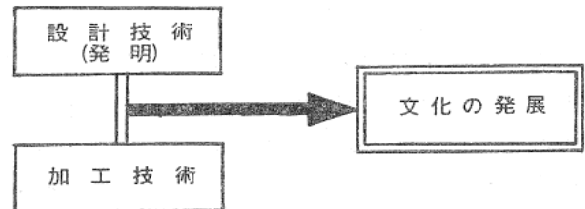


図1 加工技術の意義

このような加工史の流れにおいて、加工技術はつぎの2つの方向に進展をみた。

- (1) 量産(経済)
- (2) 精密(品質)

機械は量産によって安価にできれば、それが大衆への文化の浸透となるし、精密さを増し高品位になれば、機械の性能を向上させる。

これは加工技術のもつ2つの大きな目標といえることができる。しかしここで注意しなければならないことは、この両者は本質的に矛盾する要素を持つことである。品質の良さを徹底的に追求するときには、経済的に成り立ち得ないということになる。そこで、現実の加工技術では、ある程度のところでこの両者を妥協させている。このときの妥協点が、精密な方にかたよっているか、あるいは安価な方についているかによって、機械の種類や用途が異ってくる。

加工の流れは、常にこの矛盾する2方向を目指して、ある部面では精密を追い、ある分野では安価を求めて進展をみた。その結果、総括的

に加工の流れを眺めるときには、この兩者についての著しい発達によって、現在の科学文明時代がもたらされたということが出来る。

### 文明と超精密加工

精度の面から加工を眺めると、一般の加工に対してより高精度の加工を精密加工という。この精密加工の中で最も精度の高いもの、これを超精密加工 (Ultra-Precision Machining) として、ほかの一般精密加工法と分類することができる。ことさらに超精密加工として、一般の精密加工法と区別する理由は、超精密加工が精度を極度に高めることだけを目標とし、量産を考慮していないからである。超精密加工は、技術的な最高精度を目指す高品位少量生産に対して与えられる名称である。

過去から現在に向かって、加工精度は精密化の一途をたどった。図2は加工精度の推移の概要を、過去・現在・未来と分けて示したものである。現在の超精密加工は  $0.1\mu$  から  $0.01\mu$  の当たりの加工精度を目指している。機械工業がぼつ興した18世紀の頃には、精密加工や超精密加工という名称はなかったが、一般の加工法に対して、これらに相当する特別な高精度な加工があったはずである。

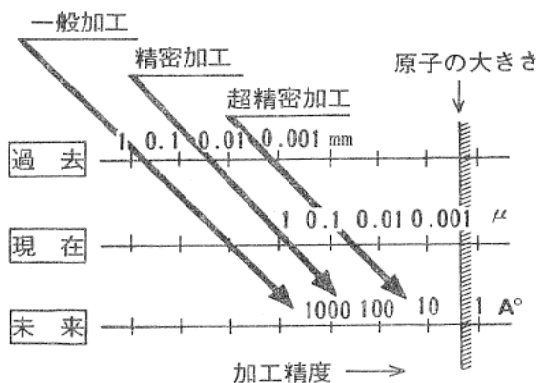


図2 加工精度の推移

たとえば Newton の実施したレンズみがきは、精度  $1\mu$  以内という当時としては驚くほどの高精度であったため、これを過去の超精密加工ということができよう。もちろん特殊な最高度の技術によって、ごく少数の光学機械用のものを製作したことであり、当時の量産体系には程遠いものであった。しかしこの技術は光学機

械として生かされ、当時最尖端の科学文明として、人類文化の向上に役立った。

現在においては、Newton 時代の超精密加工技術は、一般のレンズ研磨工場での量産体系の中に組み込まれ、精密加工技術として、一般光学機械の生産に応用されるようになった。

このように、超精密加工技術は、次の時代には必ず精密加工技術として量産体系の中に入れられるべきものである。未来の超精密加工技術は、必ず現在のものよりも一段と高精度の分野を指向するのであろう。こうして時代の進展とともに超精密加工は高精度となり、終には加工精度の絶対極限である物質原子の大きさ ( $\text{\AA}$  の単位,  $0.001\mu$  の単位) にまで到達するであろうが、それまでには無限の歳月を要するに違いあるまい。

精度として最高のものを目指すということは、機械として誤差の最も少ないもの、性能の最高なものへの要求に応じることである。このような機械は、それぞれの時代において最高水準の文化的所産である。こう考えてくれば、超精密加工は科学文明推進の担い手として、各時代の要請に応えるものである。いいかえるならば、科学文明の発展には超精密加工の達成が必要であったし、将来もまた必要であろう。

### 極限技術としての超精密加工

科学技術の進歩は、超高温、超高压、超高速、極低温などの、いわゆる極限技術を探求することによってもたらされることが多い。とくに最近の技術革新時代には、このような極限に生じる現象を応用して、新しい技術を樹立した例が多い。

超精密加工は、加工の分野における極限技術である。この技術を追求することによって、理想に近い機械を得て科学文明に貢献しようというのは、その直接的成果ということができる。しかし、それ以外に極限技術の特徴として、その探求の道程において発生する科学的成果を期待することができよう。

恐らく、これらの派生的成果が何であるかは、予測することが不可能である。しかし完全平面や完全円筒などを使用することによって、全く新しい方式に則った機器の開発がなされるであ

ろう。また材料を超精密加工していく段階において、新しい加工技術や計測技術が生まれてくる可能性もある。

要するに、超精密加工は極限技術追求という大きな目標に沿う加工技術であるので、研究対象としての価値が極めて高い。

### 3. 超精密加工の推進力

#### 防衛産業・宇宙工学

現在超精密加工に最も力を入れているのは米国である。ロケットの制御装置、ミサイルの誘導装置、その他各種の兵器管制装置には、極度に高精度な部品を必要とする。たとえば宇宙ロケットの姿勢制御には、計算機と連動する高精度の油圧制御機器やジャイロスコープを必要としている。これらの部品に要求される精度は、在来の機械部品の範囲を越え、 $0.1\mu\sim 1\mu$ の程度である。これらの要求に応じるため、米国では1950年代よりすでに Ultra-Precision Machining の努力を重ね、到達精度の単位として、Millionths of an inch ( $1/1,000,000$  インチ、 $0.025\mu$ ) を目指して異常な経費と労力を注いだ。

国防を目標とした技術開発では、経済性は無視せられるかまたは第二義的に考えられるので、超精密加工技術を発展させるには、最も恵まれた環境ということができる。米国においては、超精密加工の推進力として、国防上の要請があり、ここに達成された超精密加工技術が、一般の民需産業製品の高品位化に貢献している。恐らくソ連においても、米国に劣らぬ程度の超精密加工技術が確立せられているに違いあるまい。それは米ソの宇宙開発と弾道兵器における競争の現況から容易に想像することができる。しかしその実態は、公表されていないため、把握することができない。

#### 輸出産業

超精密加工を実施するには、多くの経費を必要とするばかりでなく、それが本質的に少量生産であるため、一般の生産ベースでは経済的に成立し難い。防衛産業として発展しやすいのはこの理由からである。しかし、ここで注目しなくてはならない一つの事実として、加工精度と

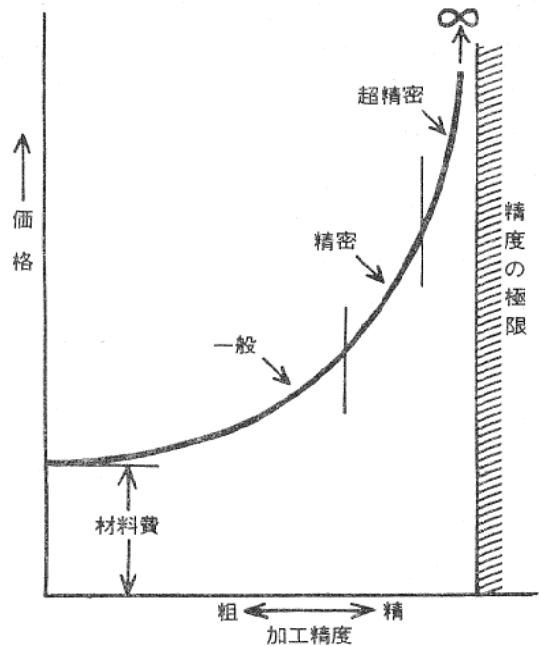


図3 加工精度と価格

製品価格の問題が挙げられる。

図3は精度と価格の関係である。精度上昇は急激に製品価格を上昇させ、到達精度の限界では無限大にまで達する性質のものである。このため、超精密加工によって世界の技術水準を抜く優秀製品を得たとすれば、それは圧倒的商品として非常に高い価格で世界に売ることができる。

わが国が現在の繁栄を保っているのは、その工業製品が広く海外に輸出されていることによる。しかしその輸出品が、高品位としての絶対的な評価を持っているとは言えない。価格の割りに品質がよいという程度のところ海外に喜ばれているのである。そのために、いわゆる価格競争を余義なくされ、労多くして功少い苦勞をなめさせられている。いわゆる「出血輸出」だの、「ダンピング」だのという声が聞こえるということは、輸出産業の墮落として、わが国産業界に与える物心両面の被害は甚大であろう。

これは正に、過去から歩いて来た安易な道程への警鐘である。超精密加工や、そこまでは行かなくても、高品位生産に対する確呼とした信念のもとに、技術的に優れたもの、海外のものより高品位のものを輸出するという基本姿勢のもとに努力を重ねるならば、上のような卑屈な

輸出をする必要もなく、付加価値も高くなり、経済的な部面においてさえ、立派に成立するのである。

とくに超精密加工技術があれば、これを極秘技術 (know how) として工場に保持し、その製品を驚くほどの高価で市場に供給し、企業ひいては社会の繁栄に寄与できるのである。

#### 調和のある生産体系

およそ一流の工業国には、図4に示すように、広い裾をもった低品位多量生産と、その上にある量的にはわずかの高品位少量生産とがなくてはならない。長い工業技術史のもとに、無理のない発展をしてきた、欧米一流工業国の生産体系は総べて、図のような調和のあるものとなっている。

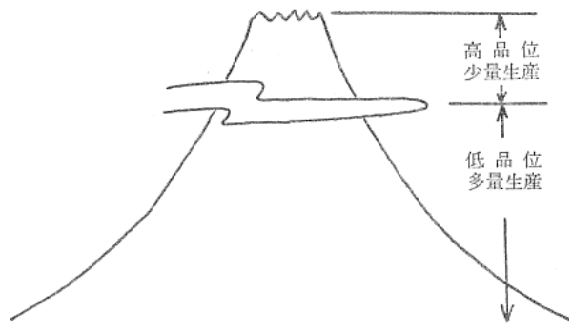


図4 生産の富士山

この富士山の山頂にある技術が超精密加工であり、それは技術的な最高峰として上のような効果をもつと同時に、多量生産技術の向上のためには、いわゆる先導技術として大いに役立っている。米国の量産技術が優れているその陰には、雲の上の高品位少量生産技術が確立されていたことを忘れてはならない。

#### 4. 日本における超精密加工の必要性

##### 経済的考察

わが国の経済が重工業を中心とする輸出産業によって支えられていることは周知の事実である。機械工業についてこれを眺めるとき、かつての繊維製品、雑貨類から出発し、自転車、シンなどの中工業製品を経て、現在では重機械類、工作機械、自動車などの重工業製品に至っている。この結果だけを見れば、日本の機械工

業の発展と大いに意を強くできるのであるが、これら重工業製品の内容を熟視するとき、必ずしも楽観することは許されない。

たとえば、最近に至って工作機械の欧米への輸出が盛んになった。5年前までは、日本の工作機械がこれ程まで欧米先進国に進出するなど想像もできなかった。品質の点で世界水準に達したことを意味している。しかし、その内容を精査するときには、必ずしも満足すべき状態にあるとはいえない。それは、日本の輸出しているものは技術的に製作容易で安価な旋盤、フライス盤などの汎用機に限られていることである。高度の技術の必要な高級高精度工作機械は、依然として欧米品に劣り、輸出の対象とはなり得ない。

このように、日本の機械工業製品が輸出品として魅力を持っているのは、安い労働力をうまく利用して、しかも技術的にも比較的立派であるというものに限られている。欧米で製作するよりも、日本で造る方が安いというところに日本品進出の原因がある。

しかし、最近の賃金の高騰は、在来のような日本品の輸出への魅力を減殺させている。極端にいうならば、このような品物は、日本で造るよりも中国、南方諸地域などで製作する方がよりふさわしくなりつつある。

この時点において、日本機械工業はその輸出努力をどこに向けるべきか、それは高度の技術を必要とし、価格的にも極めて有利な高精度高級機器に指向するべきであることは自明の理である。超精密加工によって、世界の水準を抜く独走的な歩を確立することこそ、今後わが国の輸出を伸長させ、ひいては経済を安泰にする捷徑である。

##### 技術的考察

最初に述べたように、品質がよいということと価格が安いということとは矛盾するものである。高品位のものは少量生産によって入念に製造しなくてはならないし、低品位のものは、多量生産によって安価に造り得るということである。

およそ一国を単位とする工業規模において、雲の上と下との両種の工業技術が、互いに

調和した形で存在しなくては、優れた工業国とはなり得ない。雲の上の高品位少量生産を行なうには、技術的に最高のものを必要とする。これを実行することは非常に困難には違いないが、得られた最高の技術、すなわち頂上技術は、雲の下的一般量産品の技術を高める先導技術となる。

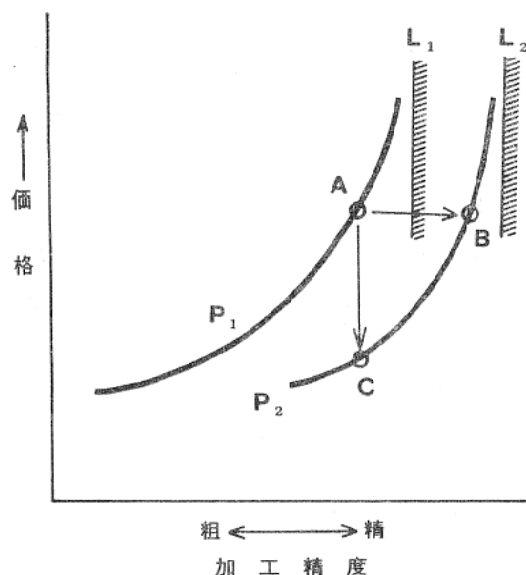


図5 精度向上の経済的意義

再び図5に精度と価格の関係を示す。超精密加工を研究することによって到達できる加工精度限界が  $L_1$  から  $L_2$  に移行すれば、その価格曲線は  $P_1$  から  $P_2$  に移る。そのときは現在の超精密加工の領域にあるA点の精度は一般の加工の範囲に入ってC点となり、価格の低減となる。また同じ価格ではB点となって加工精度を高める。B、C両方向への移行が超精密加工を推進することの大きな利益である。

さて、日本は技術革新の時代において、高度成長のため最も安易な道として、低品位多量生産としての雲の下技術に血道をあげてきた。欧米先進国の新しい技術を先導技術として、外国の機関車に引っ張られて現在の地歩を築いた。欧米の多量生産工業を熱心に学びはしたが、その上にある頂上技術、先導技術には無関心であった。

われわれは今後は自らの機関車によって索引されなければならない。その機関車となる先導技術として、超精密加工は最も強力なものであ

る。加工の極限に近いあたりを探求すれば、加工の奥義に徹することができ、それよりも低精度の一般品はいとも容易に造り得るのである。

### 社会的考察

現在日本の社会が直面する最も大きな問題点は、工業と人間生活との調和の問題であろう。公害、交通事故、人口の都市集中、道德感の低下、犯罪の凶悪化などの社会問題を追求すれば、必ず工業の問題に突き当たってくる。日本の工業の持っている体質が、日本の立地条件や人心、歴史風習などに適合していないことが、社会に一番大きな問題を投げかけている。

経済成長のために、最も安易な方策として低品位多量生産を強力に進め、高級品の製作を忘却していたところに現在社会の病根がはびこったのである。無秩序な大工場の建設と、それによってもたらされる多量生産品の消費ブーム、そして都市問題、公害問題の一連の因果関係が回るのである。

超精密加工によって、高品位少量生産が行なわれるときには、工場は小規模でしかも高価な代価が得られるので、上のような社会的問題を招くことなしに、わが国貿易の収支を改善させることができる。しかも、高級技術を体得するためには長期間に根気のある精進努力を必要とするので、従事者には精神的な安定が得られ、それはやがては社会の調和につながるのである。また超精密加工は地方で実施の方がより効果があがるため、地方の繁栄を招き、都市への過度の人口集中をも抑制する。

このように、超精密加工を実行するために生じる利益は、社会的見地からもまた測り知れないものがある。要するに、量の時代から質の時代への転換によって、現在のわが国社会の各種の問題が大幅に解決されるが、その最も有効な手段が超精密加工の実施である。

### 5. 超精密加工における日本の優位

超精密加工のもつ意義の重要性と、これがわが国の未来にとって是非とも必要な戦略技術であることを強調した。なるほど大事な技術であり、われわれが今後真剣に取り組まねばならないことはわかるが、つぎには果たして日本の現

状はそれをなし得るのか、ということに考察を進めなくてはならない。

結論から先にいうならば、つぎの諸項目に照らして、日本は十分に超精密加工を実施し得る能力をもっている。いや、日本ほど超精密加工への適性をもつ国はどこにもないということ、いいかえれば、超精密加工は日本のためにある技術と見なしてもさしつかえない。

#### 伝統の強味

日本人は数千年の昔から印度や中国の文化を吸収して、それらを自らの体質に適合するように改善し、優れた文化を築いてきた。美術品・芸術品として世界に誇るものを製作した伝統がある。たとえば日本刀を鍛えた技術は、近代の科学技術もおよばぬほどの卓越を示している。また太古から伝わる三種の神器における宝石研磨技術、金属鏡研磨技術は日本人の伝統的な超精密加工への適性を示すものである。

#### 技術的適性

技術的な進歩をするためには、豊富な技術情報を得ることと、それを冷静に思考し判断することが必要である。日本の社会は、狭い国土に多くの人口を抱えているために、自然に情報は得やすく、競争のために国民は実行力に富み、しかも頭脳明晰である。日本は技術が発展するのに最も適した環境といえよう。とくに超精密加工のように、多くの関連事項について細心の配慮がなされねばならない技術は、日本人の技術的性向からみて最も適合したものであることができる。

#### 技能的適性

超精密加工は機械だけによってできるものではない。熟練した技能者の神技を経て、加工と計測を繰り返しながらはじめて可能なものである。技能的適性を最も多く要求せられる分野である。

技能の点については、日本人の適性はいまさらいうまでもないことである。各界にわたって世界に冠絶する技能者のあることを知れば十分である。ただ要は、これらの技能者を超精密加工に従事させ、これに多年にわたる習熟をさせるための社会的環境を整えることである。

#### 性向的適性

日本人ほど一途になりやすい民族はないといわれる。戦前、戦中、戦後、そして経済成長の現在と、日本人が一つの方向に走りはじめれば、どれほど一途になり、どれほどの加速でものごとをなし遂げたかは、記憶に新たなところである。

この民族的な性向は、超精密加工のような新しい技術分野に進むとき早期に独自の地歩を築くための原動力となるものである。恐らく、日本人は当初の予想の半分以下の歳月で超精密加工をわがものとするに違いあるまい。

#### 社会的基盤

超精密加工は工業的に高水準にある国でなければ発展することはあり得ない。関連技術として各種の高度な科学技術を必要とすることと、超精密加工による高価な製品に対する需要がなくてはならない。この点に関して、わが国工業界の水準が十分にその適性を持つに至ったことに注目したい。最近10年余りの工業技術の躍進によって、今こそ超精密加工への巨歩を踏み出す好機が到来したと見てよい。

## 6. 超精密加工の関連技術

### 加工精度の向上技術

超精密加工を実施することは、簡単かつ短期間で可能とは限らない。加工技術として最も高度なものが要求されるために、多くの研究者技術者の長期にわたる努力を必要とするに違いかろう。

元来、加工精度は連続的なものであって、 $1\mu$ の精度を得るためには $10\mu$ の精度を経て、 $5\mu$ 、 $3\mu$ と到達精度を高める方策をとらねばならない。 $10\mu$ の精度から一挙に $1\mu$ に飛躍しようとすることは、返って成功から遠い迂回路に過ぎない。

超精密加工では、現在の精密加工の精度 $1\mu$ よりも高い $0.1\mu$ あるいはそれ以上の精度を目指しているために、到底飛躍的にここに目標を置くことはできない。要するに機械加工の各分野において、現在の精度から出発して、もう一段と精度を高めるためにはどのようにすべきかを考究するべきである。これが超精密加工を実

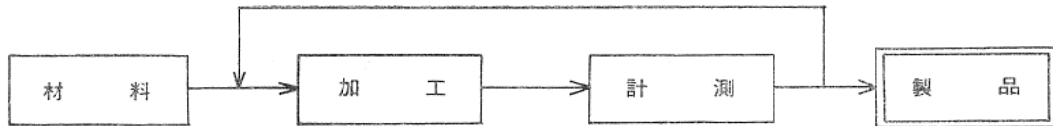


図6 加工の方途

施するための方途である。

精度を現在よりも高めるためには、加工法、工具、工作機械、工作条件について、もう一度根底から考え直してみる必要がある。現在の常道として定まっている方法も、このような見方からすると変革しなくてはならない場合も生じるのではないだろうか。それは、現在の常道は精度の面よりはむしろ加工能率を高め多量生産を目標としているものが多いため、精度向上に役立たないときが予見されるからである。

このように考えると、超精密加工は決して取り組むことの困難なものではない。どの工場でも、どの段階のところからでも、精度を高めようとする思想が超精密加工に連なるのである。

#### 材料・加工・計測の本質究明

加工ということは、材料をいずれかの方法で変形させ、得られた結果が目的としたものと合致しているかどうかを計測し、もし合致しないときはさらに加工し計測するという方法を繰り返して終に目的に合致した製品を得るということである。図6にこの間の関係を示す。

そのため、超精密加工を行なうためには、このサイクルに関して十分な技術的検討がなされねばならない。すなわち加工についての研究を進めるのでは成果を挙げることができない。材料、加工、計測の三部門についての高度な技術水準を必要とする。

材料についていえば、そのマクロな性質よりも、その本質についてのミクロ的な物性が有効であり、計測においても極微の分野についての高倍率の測定を要求される。

### 7. 超精密加工による日本の未来像

現在日本の病根は社会各層各分野にわたる不平衡不安定が原因となっているように思える。

この社会の平衡と安定をもたらすための一つの行き方として、生産分野では超精密加工がある。超精密加工をすることだけによって、現在の社会が大きな変容をすることは考えられない。しかし、他の各分野について、これと思想的に同じ方向をとる考え方が採択されるならば、それはとうとうとした一つの流れとなり、わが国の未来に夢と希望をつながせるものとなるであろう。以下には、超精密加工の実行によってわが国の未来がどうなるか、夢と希望のものがたりを記そう。

#### 科学文明と自然界の調和

超精密加工はその本質から大規模な工場を必要としない。むしろ、落ちついた風土の田園山岳地帯の中小工場が主力となる。人口集中を招き過ぎ、自然の破壊と公害や人心空疎化をもたらしていることを思えば、今後の方策として超精密加工を強力に進めることの必要性がわかる。

#### 秩序と充実感のある社会

高品位の製品を生産するということは、人心を高潔にし、精神を高揚し、使命感目標感を鼓吹するものである。現在の社会が目標感の欠如のために不安定化していることの弊害は、超精密加工を目指しての精神的な修練によって徐々に緩和されよう。

#### 東海君子国の顕現

日本は古来「東海の君子国」と自他ともに認め、道徳の花咲く美しい国であった。現在の日本において君子国という言葉が忘れ去られたことは悲しい。超精密加工の実施によって、科学文明と自然界の調和がもたらされ、社会に秩序と充実感が生まれるならば、それはやがて「東海君子国」の顕現に通じるはずである。