

産業界の明日と精密加工技術

大阪大学工学部精密工学科教授 津 和 秀 夫

転換点に立つ生産技術

生産技術には2つの大目標がある。それは

1. 生産の能率化（量の問題）
2. 生産の精密化（質の問題）

の2つで、これらは互いに相い容れない要素を持っている。生産者はこの両者を適当な点で妥協させることによって、適当に能率的であり、しかも適度に精密なものを生産して世の需要に対応してきた。この妥協点を何処に求めるかは、主として社会の動きあるいは時の流れという、人の世の万象を包含する大きな力によって定まるのである。

その世流は、70年代に変換するであろうということ、誰もが感じ、また誰もが関心を集中するところである。程度の大小はあっても、日本の各界は70年代に必らず変換する。その変換はすでに苞芽をきざしているものもあれば、変換のエネルギーを内蔵しながら変換点へと進行中のものもある。

加工技術も決して、政治、経済、社会、文化という世の流れから懸け離れたものではない。いや、むしろそれらの流れを最も鋭敏に受け取り、その流れに沿って技術の改善進歩を遂げて来たものである。

戦後のわが国の加工技術の流れを振り返って見れば、それは極端といい得るほどの量産技術偏重であったことがわかる。戦後の荒廃から生じる物質の不足は、物に対する強烈な執着となり、それから自然発生的に増産体制へ、多量生産技術への傾倒となって現在に到っている。生産技術といえは多量生産を、加工の合理化といえは高速強力な加工と思うほどに、その風潮は一世を風靡してきた。

しかし現在は、わが国内外の情報が一変した。内にあるは量産体制そのものに対する批判が起こり、規格品よりも変化に富んだものへの国民の嗜好が移り、あまつさえ公害問題に代表されるような量産工業否定の風潮さえ起ころうとしている。いわゆる「衣食足りて礼節を知る」の通り、わが国は今漸く衣食足って、次の段階として工業の礼節を知ろうとしているのである。

一方、わが国を取り巻く四囲の情勢は、漸やくその厳しさを増して来た。わが工業力の強大に脅威を感じ、日貨排斥に及々としているのが米国を始めとする諸外国の真姿である。わが国工業界が独自の決定的商品を持たず、安易に量産品の輸出を計ったことの報いである。

このように、わが工業界は現在、量の時代から質の時代への変換点に立っている。機械工業についていうならば、在来よりも精密なもの、品質のよいものを製造するのではなく、内外の情勢に対応して、工業界がその未来を築くことはできないという時点に来ている。これは正に精密加工技術への新しい指向を意味する。我々は昨日まで高速強力な能率加工を考えていた同じ頭で、今日からは低速微小削りの精密加工を考えねばならない。

精密加工技術について、もう一つ考えねばならないことは、これが単に機械工業ばかりに貢献するものではなく、電子工業、化学工業などの諸工業を始め、物理学、化学、医学などあらゆる自然科学の進歩に役立つということである。言いかえるならば、精密加工技術こそは、わが国の将来を築くために、最も必要な技術であって、その振興のために、朝野を挙げて努力をする価値があるほどの巨大技術である。

精密加工技術の頂点

加工技術は人類の歴史とともに進歩して来たが、その進歩の流れは、一方では能率化を目指し、他の一方では精密化を目標としてきた。そして精密化の流れは、加工精度 1μ の単位から 0.1μ へ、そして現在では 0.01μ の単位へと進もうとしている。

このように、加工精度として最高のものを求める技術は、先端技術とも先導技術ともいわれ、精密加工の頂上技術であるので、超精密加工とも呼ばれている。このように加工精度として到達し得る最高値を求めることには、つぎに述べるような重要な意義がある。

(1) 機械部品として理想に近いものを得るので、それらを組み立てて機械とするとき、在来のものにない高性能なものができる。たとえば軸受に応用すれば、超高速に耐え、あるいは無振動・無音軸受となり、最高精度の精密計測機軸受となる。そしてこれは新しい方式の機械の計画や設計と結び付く。

(2) 機械部品の精度不良から来る運動の不明確さのために、電氣的な自動制御技術が広汎に採用されて、その不明確さを補正していたが、その必要が減少する。たとえば、数値制御工作機の制御装置は著しく簡単化されてその普及に

役立つ。極言するならば、機械技術が革新的な電気技術に圧倒されている現状から脱却して、機械技術のもつ本質的な長所である正確・確実を取り戻すということである。

(3) 最高精度を求める技術を研究しておけば、それよりも低位にある一般の機械に対処する技術は、簡単容易である。技術者がややもすると陥り易い欠点は、目前の技術に及々とする余り、大綱を忘れることである。日常必要な技術水準よりも一段高いところに目を付けておけば、新しい観点から余裕のある態度で、冷静に技術問題を眺めることができる。新時代の技術者の態度は、このようなものであらねばならない。このような技術態度からこそ、今後のわが工業界に必要な新製品新技術が生まれるのである。

さて現実に、精密加工技術の頂点としての超精密加工が、どのあたりの水準にあるかを概観することとしよう。

先づ仕上面あらさについて見ると、最も滑らかな面として鏡面が考えられているが、これは $0.01\sim 0.5\mu$ のあらさ範囲にあり、一般には準鏡面で 0.4μ ぐらい、疵の見えない立派な鏡面で 0.1μ あるいはそれ以下で、この当りになると測定が困難であったり不正確である。しかし、工学上理想表面と考えられるこの表面も、

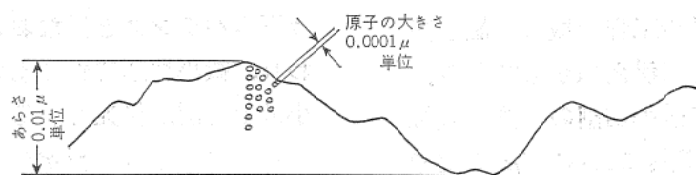


図1 工業的鏡面と原子の規模

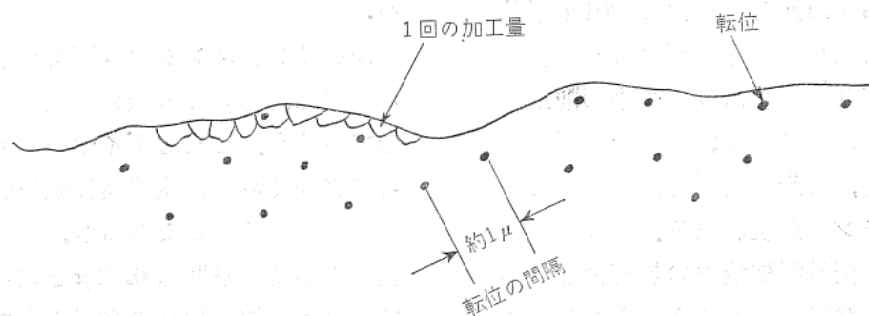


図2 弾性破壊による超微小加工

原子の大きさ (\AA 単位, 0.0001μ 単位) から見ると, 図1のように, 驚くほどの粗面である。

このような粗面を鏡面と考えていること自体が, 在来の工学的思考法の持つ大きな欠陥であり, その欠陥は質よりも量に重点を置いたことから生じたものである。

要するに完全な仕上面としての鏡面は, 原子的な規模でのあらさに着目するものでなくてはならない。すなわち除去量が原子の大きさに匹敵する程度の超微量, 0.0001μ あるいはせいぜい 0.001μ 単位であらねばならない。これは在来のラッピングの仕上量の 0.01μ とか 0.1μ とかいう値の $1/100\sim 1/1000$ に相当する極微量除去である。このような極微量除去では, 加工能率も同じ比率で低下するのは当然である。

著者らは, この極微量除去を実施するために, 0.1μ の微粒砥粒による液中ラッピング法を研究し, 図1 (b) に示すような原子の大きさに匹敵するあらさの最高鏡面を得た。これは図2のように材料中にある転位密度の間隙を加工することによって, 転位を含まない加工すなわち弾性破壊による加工をして, 加工変質層のない理想的な鏡面を得たものである。あらさを 0.001μ 程度とみたのは, 走査形電顕によっても凹凸が観察できなかつたためである。

切削工具による加工では, 精度 0.01μ が限度とされている。これは旋盤やフライス盤による在来の加工法では, 工具や工作機械の性能と構造がそれ以上の加工精度に耐えぬからである。この在来の常識を破って微小切削の可能な機械と工具を造れば, 切削工具によって μ 単位や 0.1μ 単位の加工ができる。

まず工具について言えば, 刃先稜の丸味半径を在来の単位から 0.1μ あるいは 0.001μ 単位にまで持ってくるような特殊の研磨技術を行うことによって, 図3に示すような微小切削が可能となる。この種のバイトは, 工作物材料との溶着性が悪いこと, 刃先稜を鋭く造り易いことのためにダイヤモンドが使われる。

米国はアポロ宇宙船制御装置の超精密加工のために, このような特殊のバイトを用意し, また特殊専用の機械を開発して, 0.3μ 程度の精

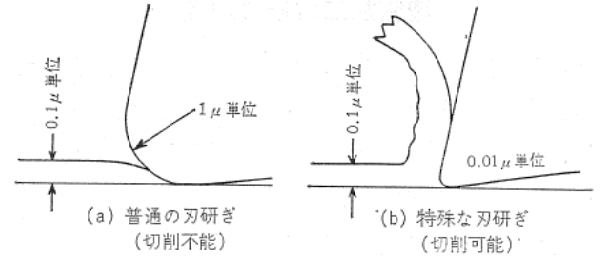


図3 刃研ぎ技術と超精密切削

度で溝切りや球面削りを行っている。これが切削における精密加工の頂点である。

工作機械の超精密削出平削盤 (Ultra-Precision Positioner Shaper, 略して UPPS 機) は, つぎの点で一般の工作機械と違っている。

- (1) 炭素の焼結体で構成された空気軸受より成る超精密主軸とガイドを持っている。
- (2) 特殊構造の微小切入装置を持つ。
- (3) 低速駆動と防振装置によって, 振動を極力防止している。
- (4) 高精度の精密測定装置をもつ。

このように在来の工作機械とは全く異った構想のもとに, 加工精度に徹底した機械を完成したために桁違いの精密加工ができたのである。そのためには10年の歳月を要したという。

研削の超精密加工では, 特別に高精度の砥石軸と主軸を備えた円筒研削盤で $0.2\sim 0.3\mu$ の加工精度を出している。もちろんこのときには, 砥石のバランスと目なおしは特別に入念に行なわれ, 微小切入装置の効果と相いまって, 超微量の研削が保証されるのである。

そのほかラッピングでは, 他の加工法よりも一段と高精度の加工がなされ, 真円度測定機の軸のように $0.01\sim 0.02\mu$ の精度が出されている。

ルーリングエンジン (回折格子刻線機) による加工は, 恐らく人類の到達した最高精度のものであろう。これはダイヤモンドカッターによってアルミニウム蒸着膜に線を引くので, 塑性加工に属するものであるが, 刻線の間隔 1μ 前後に対して, 精度は 0.01μ となっている。この機械は機械的に最高の精度を出すとともに, 精巧な電氣的自動制御装置を使って誤差を自動補

正するようになっていく。

精密加工技術を発展させることは、わが国の現状に照らして、焦眉の急務ということが出来る。ところが精密加工技術は積年の経験によって築き上げられたもので、一朝一夕にこれを発展させることは困難という見方もある。とはいえ徒らに手をこまねいて傍観することは出来ない。要するに、最も効果的な方法で、独自の精密加工技術を樹立するのではなくては、わが工業界の未来がないという時点に立っているのである。

最も効果的方法とはつぎの3つの方向からの加工精度向上のための追求努力が、互いに密接な連けいのもとになされることである。

- (1) 科 学
- (2) 技 術
- (3) 技 能

以下にこの3者について簡単な解説を加える。

(1) 科 学 精密加工は微量加工であるので、そこに生起する現象を的確に把握して、それを解析し、対策をとらねばならない。現象が微小であるだけに、あらゆる科学的手段を駆使して、その観察と解析につとめねばならない。微小現象は巨大な現象をそのままの寸法比例で縮小したものではないということ、そこには相似則が成り立たないことに留意しなくてはならない。

科学的な現象の追求は、単に加工現象だけに留まらず、材料と計測についてもなされねばならない。加工とは、所詮は材料を加工して計測するという一定の方法以外にはないので、これらについての科学を弁まえていなければならない。

(2) 技 術 科学を応用して、それを実際に生かすものが技術である。工作機械や工具、加工条件という技術的問題について深く追求しなくてはならない。この技術的問題は、生産性を追求したときの技術とは全く観念の異なることに注目する必要がある。たとえば、精度に目標を置いた工作機械は、一般工作機械とは着想の基本から異なったものであるべきで、在来のもの

の既成概念を捨て去って、大胆な設計を行なうべきである。

(3) 技 能 精密加工は微小加工であって、そこで生じる現象は科学的に解明され難いことが多い。恐らく物理現象としては最も最後まで科学的解明を拒み続けるものであろう。そのときには、科学の力よりも、一層に強力な人間の能力の助けを借りる必要がある。その人間の能力とは、天性と修練と精神力とのかけ合わされた能力としての技能の力である。科学の力は技能の力に比べると、大人と乳児の違いほどに無力である。

精密加工技術のあけほの

72年は日本の国家社会にとって、いろいろな変換が本格的に動き始める年であると考えられる。70年頃より始まった変換への胎動が、いよいよ機熟して発動する年でありそうな気がする。

精密加工技術もその通りである。過去数年間、加工技術の一隅でくすぶり続けて来た熱量が、いよいよ焰を挙げる年となるであろう。とにかく、好むと好まないとに拘わらず、わが国の生産工場は、高品位生産あるいは精密加工に向っての歩みをしなくてはならない。

そのときの問題は、今まで量産一本槍で来た工場が、どのようにして高品位化と取り組むかということである。量産と高品位は違質なものであり、しかも経済を度外視した高品位化は会社の自滅を招く恐れさえもたらせる。とくに精密加工には莫大な資金が必要という常識がある。容易に高品位生産に踏み切れない理由である。

しかし精密加工にしても、高品位化にしても、決して一挙に飛躍的な実施をすべきものではない。現在の段階から出発して漸進的な移行発展を目指す確実な方途をとらねばならない。要するに精密加工は、現在よりも少しでも精密なものにと心掛けたときの成果の積み重ねにある。より精密なものを造るという作業を繰り返して行けば、遂には着実に最高の精度にまで到達できるのである。

多量生産工場では、生産ラインとは別に、高

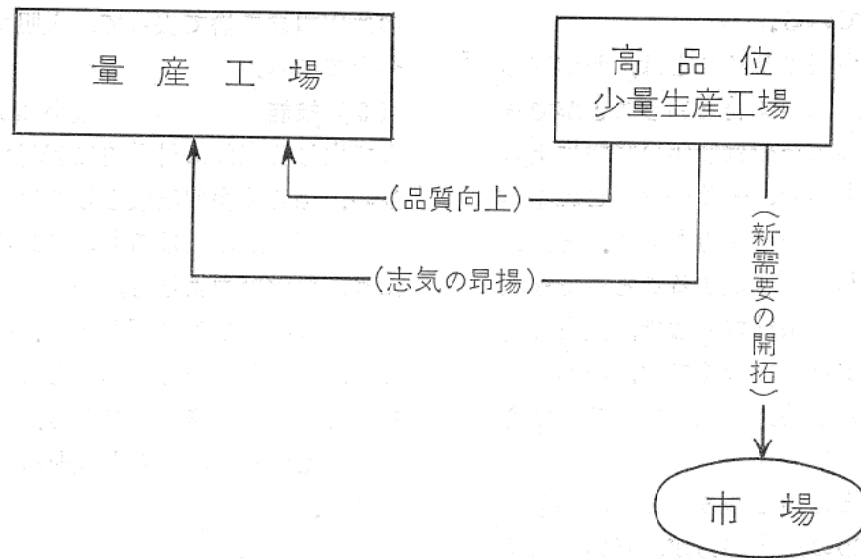


図4 高品位少量生産工場の意義

品位の試作部門を持つのが望ましい。この高品位試作工場は、量産ラインと同じ製品を、それよりも高品位に製造するものであり、ごくわずかの人員と設備によって運営できる。ここで造られた高品位少量生産の製品は、図4に示すように、直接市場に出して需要に応じさせることもできるし、また量産工場の製品の品質向上に役立たせることもできる。こうして高品位生産

によって、工場の声価を高め、工場の志気昂揚を計るならば、自然に製品全体の高品位化が実現され、未来の繁栄に導かれるのである。

72年は、日本の生産工場が、その工場々々に適応した方法で、高品位生産、精密加工へと実行の第一歩を踏み出す年である。この意味において、日本の生産界にとっては明治以来始めて迎えた一大転換の年といえることができる。