

Techno
Scope

大きなろくろのような機械で素材を回し、ゆっくりと絞り上げていくへら絞りの技。この技術を使えば2500φという大型パラボラアンテナも精密に製造することができる。職人の手がその精密さを確認しつつ、ゆっくりと形状が整えられていく姿は壮観ですらある。

今、職人技能が熱い

工学技術と人間の技の間

日本の工業技術を世界のトップレベルに押し上げてきた大きな要素の一つに個人の技能の質の高さがある。手先の器用さ、感覚の繊細さは日本人に固有の国民性であり、これが高度成長期を通じて短期間に数々の技術革新を成し遂げる底力となってきたのである。高度の機械化を推し進めてきた果てに最終的に残る人間の感覚に頼らざるを得ない部分。その部分で特に秀でた日本人の技能が日本の技術躍進のある意味での決め手であったともいえよう。成長から成熟へとシフトしてきた今日の日本においても、こうした職人的技能はさまざまな工業技術の現場で脈々として生き続けている。しかし一方で、ここでも後継者難による技術伝承の危うさが表面化しつつあることも事実である。

そのような状況を踏まえつつ、今号のテクノスコープは、ものづくりの現場における職人技にスポットをあて、さまざまな実例を訪ねてみた。

職人技がものをいう世界

近年、日本の「職人技」があらためて注目され、さまざまなメディアでも取り上げられている。そんな中、通産省はこの4月10日に、「2001年の春から、工業分野におけるいわゆる職人技の実態を分析・データ化するプロジェクトを開始させる」と発表した。

従来、感覚的な表現でしか示せなかった日本の高度の技術力の根底にある職人技を確かなデータとして確立しスポットをあてることは、日本の工業製品のさらなる国際競争力の強化にもなり、また近年問題となってきた職人技能継承者の減少にも

歯止めをかけ得ると期待されている。

機械化、計数化が一面では生産手段に能率化、正確化、量産化をもたらし、高度な生産性に裏付けられた工業化社会の発展を可能にした。

しかし、極めて高度に発達した現在の最先端機器をもってしても、人間の能力に及ばない世界が多く存在する。そのひとつがいわゆる職人芸と呼ばれる領域である。特に日本の場合、このような究極の職人芸が、世界でも際立っており、そのことが世界に名を高めた日本の工業技術の特徴づける側面をなしてきた。

そのような高度な手練が活躍する分野は、探してみると工業



フライス盤によって作り上げられた平面。工作機械のデジタル化によって、ハンドルを回せば材料の位置自体は数値で表わされるようになったが、機械の摩耗や微妙な温度変化などによるズレがその数字に反映されることはない。いくら機械のデジタル化が進んでも、職人の微妙な感覚なくして、数 μm 単位での仕上げは不可能である。

のあらゆる裾野にわたって広がっている。ここでは金属材料加工のいくつかの分野を選んで、この玄妙な技の現場をルポし、工業技術と職人技の微妙な関係を考察する手がかりとしてみたい。

曲げる

まず、世界の最先端に行く日本の工業技術の中に、まだ、まると手作業が頼りの分野があるという話、造船技術の中で船殻と呼ばれる船のボディーを加工する技術である。船殻はさまざまな曲面を持つ何枚もの鋼板で構成される。この鋼板に曲面をつけるのは、船側など比較的単純な曲面はプレス加工でもできるが、微妙な曲面やねじれをもつ船首や船尾の部分は実は機械作業ではできないのである。人間が両手にそれぞれバーナーと水のホースを持って、加熱と冷却を繰り返す。鉄は熱すれば膨張し、冷やせば収縮する。この単純な原理に従って、作業を進めていくと鋼板は湾曲する。原理は単純だが、設計図通りの曲面に仕上げていくには、加熱と冷却の無数のバリエーションが存在する。量産品なら数値制御に任せるところだが、船は基本的に受注による一品生産であるから経済的にも金型によるプレス加工は現実的でない。

しかし、熱をどこにどのように加え、あるいはどのように冷却すると鋼板がどのように曲がるかといった定量的なデータは存在しない。作業マニュアルがあるわけでもない。加工の具合は鋼種や寸法でも違って来るし、同じ鋼種・寸法でもメーカーが違えば微妙に変化する。このようなあらゆる要素に対応するにはひたすら経験の積み上げでコツを身につけるしかないのだという。スクリューのあたりなどの微妙な形状になるとこの道、数10年のベテランでないと手に負えないのである。

欧米にはこのような技能者は存在せず、しかたなく小さな鋼板を溶接して曲面を出すという非能率的かつ不正確な作業を



真円に近い形状を正確に削り出すには、職人の腕が重要である。信号機の中で使用されるこの部品は、風雪・炎天下にも負けない難加工材が使用されているため、高い技術水準が必要とされた。

強いられている。世界をリードする日本の造船業がそのイメージとは対照的な古来の匠の技に似た手技に頼る部分を秘めている事実はまことにおもしろい。

削る

精密機器部品の平面や溝を削るには旋盤やフライス盤を用いる。これらの機器はコンピュータ制御で所要の形状寸法を自動的に切削するのが普通である。量産品の製作は完全なオートメーションに任せられるが、機械部品の製作は、安定した量産の段階に入る前に必ず試作段階がある。これらは数個単位の小ロット製造となるので、プログラミングに手間暇がかかるコンピュータ制御では、時間的にも採算的にも合わない。このような場合には手動のフライス盤が使用される。昔は材料の位置の移動は目盛りが頼りだったが、今ではデジタル表示される。位置の確認は楽になり機械の性能が進歩しているので要求された寸法精度を満たすのもかなり容易にはなったが、位置決めそのものは依然としてハンドルを回す手の感覚がすべてであるという。また、切削などの前作業として上述の船殻の場合と逆に、圧延板材の反りの修正という作業がよくある。これにはNC機（Numerical-Controlled machine＝数値制御機械）は使えず、汎用機で手作業するのだという。反りの微妙な調整は機械では難しく、手の感覚でするのが現状ではベストなのである。結局、機械を機能させるのは人の腕といったところであろうか。

精密機器はますます複雑化し、部品の寸法精度への要求もきびしさを増す一方で、誤差0.005mmのオーダーもめずらしくない。これは大量生産用の機械では実現されていない。

しかも機械の元となる機械を作り出すのもやはり人間である。旋盤やプレス盤などといった工作機械は精密であることが命である。もしこれらの工作機械にゆがみが存在したならば、できあがった部品にも当然影響は出る。そのため工作機械の水平を

C O L U M N

感性工学

人間の感覚については近年さまざまな試みが行われてきた。20世紀の技術革新がひたすら効率化、標準化を求めて成果をあげてきたのに対し、これとは異なるタイプの新しい理論や工学がここ10年ほどの間に形成されてきているのだが、その一例が職人芸的技能に関係が深い「感性工学」と呼ばれるものである。感性とは、必ずしも先天的な才能だけのものではなく、天性の感覚が経験や体験によって磨かれたものとされる。そういった意味で、職人的技能もこの範疇と考えられよう。

ところで感性というのは、割合に最近になって使われるようになったことばである。理性、知性を学問や思想の中心に据えてきた西欧にはなかった概念なので、英語に訳そうとしても適語がない。あえていえばsensitivity（感受性）、sensitivity（感覚能力）などとなろうか。

しかし感性という認知力が人間に備わっているということは世界的に認められ始めているのである。そこで生まれたのが「感性工学」。感性を感情、共感、直感、審美感といったもろもろの人間の感覚的能力の総合として規定し、捉え、これを物理量として捉えようという試みである。情緒工学という先駆的な研究がすでに1960年代からはじめられており（日本情緒工学研究会、1969年発足）、必ずしも目新しいものとはいえないが、1990年代になってからは右脳と左脳のはたらきなど人間の認識システムの生理学的な研究の進展とも相俟って、工学のニューフロンティアとして次第に注目されるようになっていく。

感性工学では、感性というものは感覚的認知システムの感覚的情報処理に基づいて生ずるとしている。そこで心電図や脳波計などを用いた生理計測と臨床心理学で用いられる分析法を使用した心理計測を行い、物理量と感情の関係モデルを作成した上で、感性シュミレーションを行っている。

情報処理は知性や論理的側面からの取組みがなされていたが、このような従来型の科学技術手法が画一化や非人間化、さらには環境問題といった負の結果にいたった経緯への反動として、この感性に重きを置いた考え方が、科学技術や経済をはじめ、これまで感性の対象外であった領域にどんな新しい成果をもたらすことができるのか、興味のあるところである。



航空機・宇宙機器等の部品

ほんのわずかな機器の誤差が運行の全てに影響を与える航空・宇宙部品の世界。誤差0.01mm以下の水準を要求されるその部品は、一点一点絞り上げる手の感覚を頼りに作成されている。

決める台部分にはより完全な平面に近い銅板を使用する必要があるのだが、非常に原始的な手作業によってその材料は作り出されてきた。「キサゲ」と呼ばれる彫刻刀に似た工具を使って、塗りつけた塗料の削れ具合を確かめながら、何度も削りを繰り返すことによって作られているのだ。しかも金属の収縮を考え、使用される面に応じて μm 単位の調整を行うため、その製造には職人の経験が唯一の頼りになるといわれている。

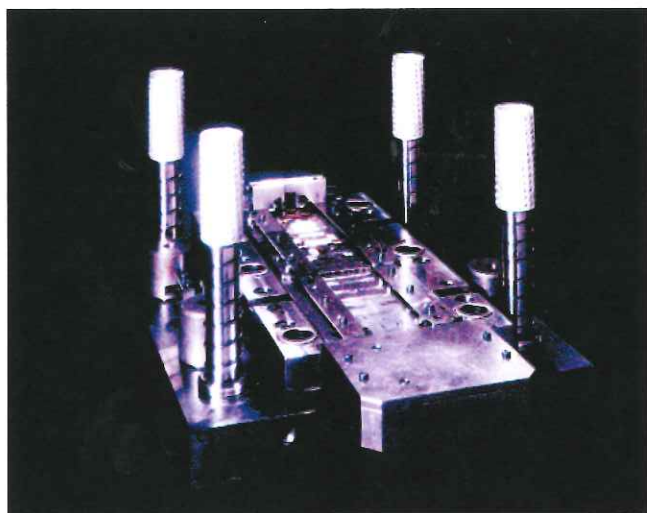
絞る

板状のものを曲面形状を与えたり中空の球に成形するのは、金属加工の中でも、最も条件の難しい技術である。私達の回りにこうした曲面や球形の金属製品は少なくないが、このような製品を造るへら絞りと呼ばれる加工技術がある。陶器の形をつくるのと同じ原理の作業で、材料を回転させ裏側に球形の型を同心で回転させ、へらと呼ばれる工具を使って材料を押し、球形の型に合わせて徐々に仕上げていく。このへらの操作が手作業なのである。曲げと違って絞り加工の場合、金属組織は満遍なく全方向に延びる。ところが絞りを施す板材は圧延してつくられるので、圧延の方向によって延性に差が生ずる。さらに金属は弾性があるので加工変形してももとの形に復元しようとする傾向がある。こうした金属材料の物理的性質に逆らうので真円度を出すのは難しく、また無理をすると材料が破損する。振動や音などで状態を感じ取りながら作業を進めるというのは、いかに進んだ機械でも不可能である。

1980年代中頃からは航空宇宙などの最先端分野からのニーズが高まり、格段に厳しい精度要求を伴うようになった。当初例えば直径の誤差0.1mmといった要求があり、きわめてきびしいレベルのものと受取られたが、現在では小数点が1桁下がって0.01mmのオーダーが普通になっている。これを手作業でこな



精密部品の製造には空調設備を整えたクリーンな施設が必要である。この金型の製造工場は整然と並んだ工作機械が設計から製造にいたるまでオンラインで管理されている。しかし、微妙な変化を感じ取り正確な指示を機械に与えるのは、あくまでも熟練工の仕事である。



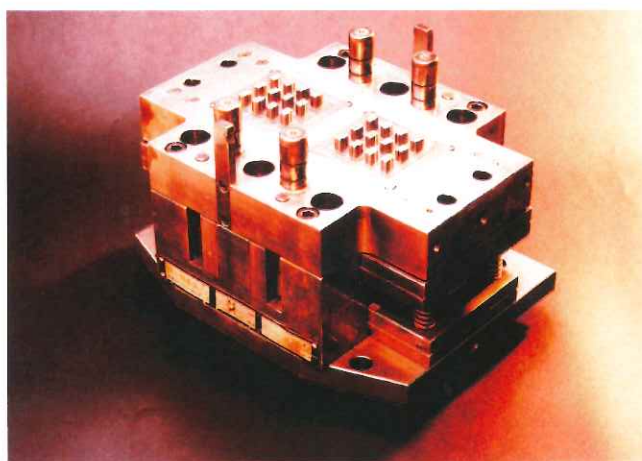
職人芸の最高峰の一つ、精密部品製造用金型。部品制作からその組立まで、一つ一つに職人の目が行き届いている。この精密に作られた金型があってはじめて、狂いの許されない航空電子機器のコンネクター部分が創り出される。寸分違わぬその精密さは一億回の使用でも損なわれることはないという。

してきたということは、単なる伝承だけではなく、人間の技も時代とともに大きく進化してきたということである。

金型で造る

曲げる、削る、絞るという金属材料加工の典型的な三つの例に機械技術と人間の技の関係を追って、次に最も汎用的でバラエティーに富んだ金型加工の状況を探ってみよう。

金属部材の大半は金型を利用して製造される。おそらく金型を使った材料成形にも人間の技は介在しているに違いないが、いったん金型ができれば、殆どの部分は金型まかせとなるだろう。しかし金型そのものの製作はどうなのだろう。そこでより精巧な技術が要求されるに違いない精密金型の分野を選んで



身近にあるプッシュボンのボタン。この部品はプラスチック用金型によって一度に数字部分まで作っているため、その表面に全く段差は生じていない。精密無比な金型の存在あってこそ製品化できる部品である。

取材してみた。

技術の飛躍的な進歩、特にパソコンと携帯電話の爆発的な普及で、機器の性能の高さ、奥行き、幅は飛躍的に広がりつつある。共通の傾向は小型化、薄型化であり、これにともなう精密加工技術へのニーズは日増しに高まっている。その1つに電気の接続端子がある。現在、電動でない機器はないといってもよいので、機器自体の内部接続、外部機器との接続など電気的な連結部分はすべての機器に不可欠である。これらの接続端子は小さなものでは0.3～0.4mmピッチのものから航空機のオートパイロットなどの超精密品、新幹線の高圧電気の巨大な接続子に至るまで実に多様である。素材としてステンレス、非鉄合金、プラスチック、セラミックスなどさまざまあるが、これを成形する金型の方は粉末冶金による超硬合金、高速度鋼、合金工具鋼などの素材が主流で、これらで金型をつくる工程のあらすじを辿ると次のようになる。

まず設計段階で、耐衝撃性、硬度、耐食性、耐熱性といったファクターを織り込んだ十分な素材設計を行う。次いで部品設計図に基づいてCAD/CAMによる金型設計を起す。これを数値データ化し、NC工作機械で製作する。コンピュータに形状寸法等をプログラミングしてデータをフィードバックしながら

1~2 μm の精度で切削、溝切り、穴あけ等の細かい加工を進める。

最後に窒化、ハードクロム処理、チタン・コーティングといった硬度や耐食性向上のための表面処理を施してできあがりとなる。もちろんほとんどがオートメーションであり、すべてのプロセスは緻密に管理されているのだが、それでも計算上は図面通りにできるはずのものが現実にはその通りに行かないことがある。0.1 μm のレベルの精度になると、目でモニタースクリーンを追い、耳で音を聞きながらの微妙な両手の手さばきがどうしても必要になるのである。また、刃は磨耗もするし熱変化も起こす。これらが精度に敏感に影響するのだが、これをいち早く感じ取るのも機械ではなく人間の感覚である。

また、成形そのものの工程とは別に、組立ての問題がある。これはすべて人間が自分の習練で調整していかなければならない。数千にわたる微細なパーツを寸分の互いもなく組み上げていくのには、やはり経験によって培われたきめこまやかな感性が必要なのである。

整然と並んだ工作機械、青いモニター画面に見入りながら黙々と作業を続ける人々、作業所の境界ごとのゾーン隔離による厳密な温度管理等々、静かできれいな典型的ハイテク工場と思えた現場の光景が、ちょっと見た目には到底判らない長い習練に裏づけられた人間の技の話を伺うにつれ、工場というよりは人間の技が凝縮した工房のようにも見えてきたのであった。

感じる

さて、いくつかの例をひきつつ、高度な職人技を見てきたわけだが、もとより現代の職人芸は機械あつてのものである。

省力化は人間の技術の歴史の必然であった。機械に置き換えることで、人の力や能率の限界を破って技術は飛躍を重ねてきたのである。すでに見てきたように、現在のところ人間のあらゆる営みに人間の技でなければ通用しない領域があるのは確かだが、これもまた過渡的段階であって、究極的には人間の技や感覚といったあいまいなものは、消え去る運命にあるのではないかとも思われる。言葉を変えれば、このような人間的要素を100%定量化して機械化することは可能か、という問いになる。

ここで製造業の中でも機械化の進んでいる自動車を例にとって考えてみる。生産ラインの機械化をいち早く進めた自動車製造業においては、今日、人間のかかわる作業は減少してきている。それにもかかわらず、自社専用の職業訓練校を開設している企業がある。その授業内容を覗いて見ると、数値制御旋盤

を中心に、プログラミングやデータ入力、座標系といった理論学習カリキュラムが並んでいるが、鋼板を叩いて広げる延ばし、すぼめてできたシワをつぶしながら曲面にする絞り、など板金の基礎技術の実習も怠りなく行われていることが分かる。これは、機械化の進んだ自動車製造の中でも手作業に頼らざるを得ない部分があること、また手作業からこうした加工の基本的なメカニズムを知ることによって、オートメーション万能の現在でも機械には任せられない「判断」を要する技術上のポイントをつかむことができるからである。

また、ある鉄鋼メーカーには、素材を削ることによって発生する火花から数千種類に及ぶ鋼種を一瞬にして見分ける職人がいるという。今日の鉄鋼材料にはさまざまな微量元素の配合による極めて多様な鋼種が輩出してきており、おのずからこのような入神の芸が培われてきたのであろう。

近年クローズアップされてきたキーワードのひとつに理性や知性に対する「感性」ということばがある。感性は感覚とも違う、理性や知性では把握できないいうなれば人間の第3の認知システムを意味する。

広くいえば、これまで見てきたような人間の手による機械も及ばない技は、人間の感性の領分から生ずるものといえる。

デジタル・マイスター・プロジェクト

話は冒頭の通産省の発表に戻る。最新の報道によれば、通産省発表とも関連して日本の製造業の強化策を検討する「ものづくり懇談会」（首相の私的諮問機関）は、日本の製造業の技術水準の高さを強調するとともに、熟練技能者の高度な技能を電子情報化して産業ロボットに活用することで「匠の技」の普遍化を実現する「デジタル・マイスター・プロジェクト」の提案をまとめた。この稿で追ってきた機械化されざる人間業の「機械化」への新しい挑戦である。

提言にはこのほか、工業高校や高等専門学校などの入試の合格基準を見直し職人的感性に恵まれた人材の発掘と育成を目指す「一芸入試」なども含まれている。この最新のニュースに、熟練工の技の解析・データベース化と職人的技能の継承とさらなる涵養をふたつながらに追求しようという次世代のものづくりへのわが国の姿勢を伺い見ることができる。

取材・写真協力：(株)北嶋製作用所、(株)成立、日野自動車(株)、富士航空電子(株)