

鍵部品の高品位高精度高効率加工技術 単軸自動旋盤の加工工程と ツーリングレイアウトについて

(株)ゴール 米子工場 西村雄城氏

1. はじめに

世の中の発展と共に高度化する製造業において、当社も例外なく自社ブランドで展開する錠前製品に、より高い精密・精工さを追求している。当稿では世界トップクラスの性能と自負する、錠前の心臓部となるピンタンブラー式キーシリンダー（以下：ピンシリンダー）の部品生産を基に確立した、工作機械の運用方法や効果的な加工技術、機械選定、刃物・ツーリング、チャックについて開示可能な一部を紹介したい。

2. 単軸自動旋盤の選定と加工形態の確立

当社では難易度が高い構成部品ほど内製化に努め、社内にハイレベルな技術の蓄積を行っている。当社のピンシリンダー部品はCNC複合自動旋盤（以下：自動旋盤）による生産体系を基とし、素材より1工程で完成品として排出することを理想としている（排出＝切削工程完了）。これにより、工程短縮とそれに伴う中間在庫と労働力の削減、加工寸法の整合性や加工精度の向上、工程間で起こりうる加工不良の排除など、さまざまな恩恵がもたらされる。しかしながら一方では設備が複雑となり、段取り・立ち上げ時間の増加、高いオペレーターのスキル、生産力の高い設備の突然の故障により及ぼす影響が大きいなど弊害に対しても十分に考慮する必要がある。生産設備の性能や能力は、その裾野に確立される生産体系、コストや在庫管理体制と、会社全体の形態すら変えてしまう程に与える影響が非常に大きいものである。

会社組織として観る良い機械とは、流動的な変化の中にある最も適切と考えられる折り合いの中で、より多くのメリットや価値の付加を実現するための高い水準を、長期間にわたり確立し続けることのできるものであるといえる。

また、エンジニア視点から観る良い機械とは、構造的に正解であり、高い動作精度や機械剛性を備え、それらを長期間維持できることであり、洗練された形状・構造はおのずと合理的でシンプルになり、寛容さや柔軟性も増す傾向が高い。究極を目指せばどちらからの見解であっても良い機械とは同一な方向性であり同じ終着地点となるだろう。

当社では、機械導入を行う上での考え方として、運用稼働計画も含めターゲットとする生産品目の素材・形状・種類・量などを考慮し、最適と考えられる機種を選定する。製品ごとに必要となるツーリングやチャック類の交換作業による機械の停止時間と、作業負荷や人件費などの生産コストを加味し、機能付加あるいは多機能機種の選択による導入金額のアップとその恩恵となる加工時間短縮＋稼働時間の増加との中でもっとも良い落としどころを探る。決して、導入価格や初期のメリットだけで判断しない。

小品種多量生産で生産品目が決定しているのであれば、その生産形態の確立に必要な最小限の機能と能力を有した機械を選定する形態が一般的な定石だろう。

逆に多品種少量生産でしかも多くの加工付加を有するような生産形態を確立する場合、さまざまな形態が選択肢として浮上する。冒頭にも記す通り、当社では1工程で完成品とするために多機能な機械を選定する。

前者の場合、すべてが少ない可能性の中での選択となり、機械導入に関してのアプローチとしては特に目新しいことでもなく、メーカー主導のもとプロジェクトを遂行することもできる。機能や能力が少ない分、鉄の塊であるフレーム類も比較的小型となり、周囲の雰囲気や温度変化による寸法の変動が自ずと小さくなる傾向にある。機械導入から安定生産までにかかる時間と労力も少なく済む。しかし、後者のような多機能な機械となると、多くの複合機から候補機の選択とそれぞれ細かな仕様検討の上で最適を選び出す必要がある。複合加工を可能とする工具本数や刃物台の増加あるいはミルヘッドの付加、マシニング加工可能な正面・背面主軸筒、振れ止め装置などを備え、モジ

ャー構造によるフレキシブルな仕様選択も可能となる。このように機械の決定だけでも莫大な時間と労を費やすが、それだけ重要な事柄である。重複するが、会社に大きな影響を与える重要なプロジェクトであり、多くの選択肢と将来の可能性までを視野に入れ決定を行わなければならない。

図1（インデックスC100）のように、切削負荷が大きく、あるいは難易度の高い部品であっても、多数の刃物台による同時高速～重切削や、最大3工程のオーバーラップにより、短時間で加工を完了することが実現できる。

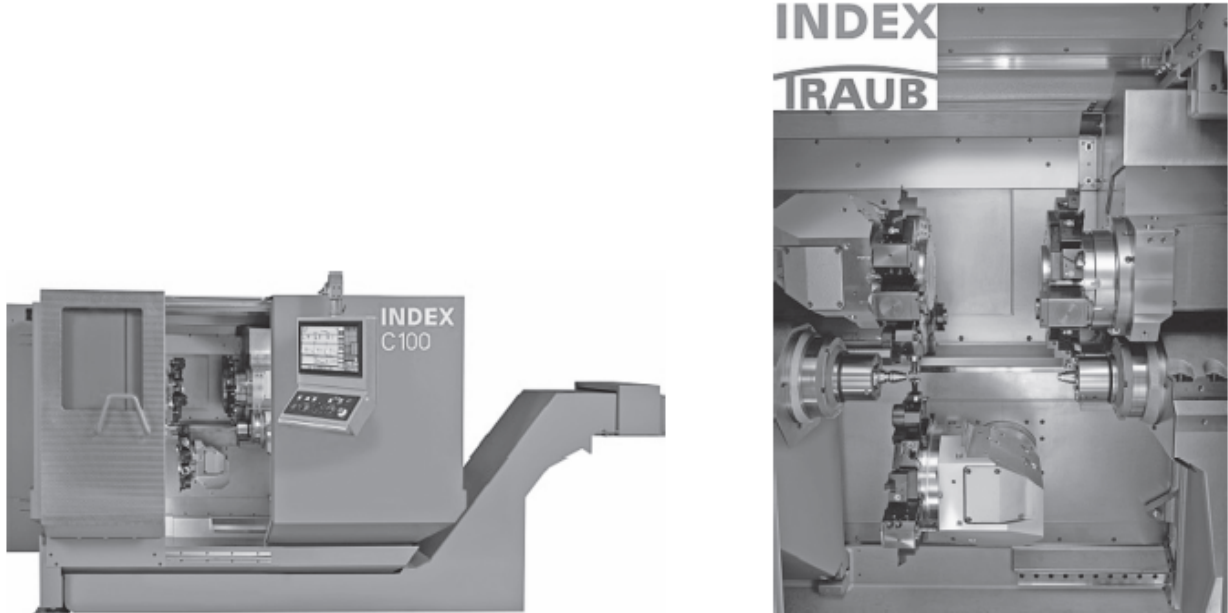


図1 INDEX C100高剛性3タレット複合加工自動旋盤(YKT株 提供)

また図2（トラウプTNL32）は主軸移動～主軸固定、振れ止め装置の脱着、ガンドリルやタレットのB軸旋回機構など、非常に多機能を有しながらも、ほかに比較対象が無いほど凝集・コンパクト化されている。小さいがゆえに前者に記した様な寸法変動も大型となる同機能機と比較すると非常に少なく、機械剛性と加工精度も抜群である。これから、さらに身近に3Dによる設計支援ツールが充実し、立体的設計思想が浸透する中、将来の物づくりでは今までに無かった制約や要求を満たさなければならず、より熾烈を極めてゆく。私は、これら超高性能マシンが未来を支える機械であると確信している。

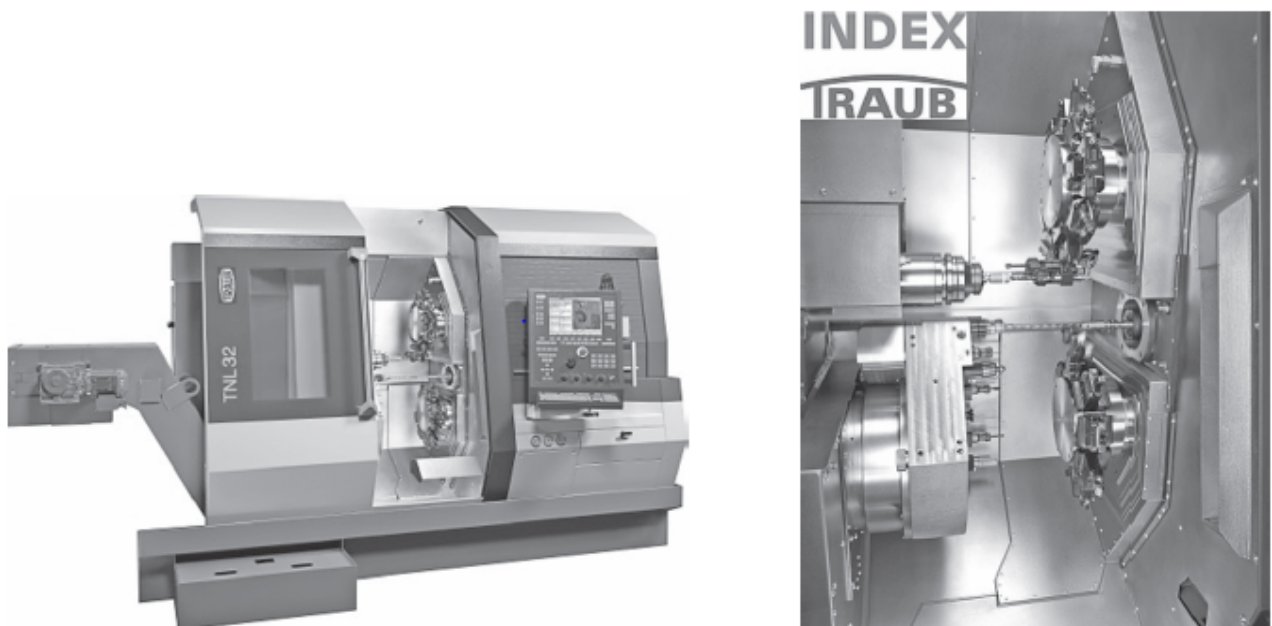


図2 トラウプTNL32-11によるロングドリリング加工を含む3工程同時加工(YKT株 提供)

3. 専用刃物・専用ツーリング・ツーリングレイアウトによる加工機の高機能化と高速化
導入された機械を運用していく中で、導入検討当時の想定を遥かに上回ることを目標とし、多くのメリットを出すために、常に工夫と改善を行い続けることが必須である。継続的な向上心と積み上げられる実績こそが、将来へ向けての備えと生産現場での力の源となる。
改善意識の中で創意工夫され、当社で実績のあるチャッキングやツーリング・刃物や加工方法とその実例について記していく。

自動旋盤の場合（一部ミルヘッド搭載機を除き）、一般的にATCを搭載出来ないため、限りある工具本数と素材・刃物・チャック・刃物台が共存する旋盤特有の狭い加工空間の中で、より高い付加価値を生み出すことに注力する。機能の少ない機械であっても、加工工程・ツーリングレイアウト・専用刃物の装着により、同類機種の上位クラスを凌駕することも可能となる。教科書や専門書に記載のある方法だけを忠実に倣うだけではなく、その根幹を理解した上で自由な発想のもと工夫を行う。

3.1 バイトでの工夫

①刃先や形状を工夫することで端面挽・外丸挽・後ろ端面挽・溝入れなど、さまざまな旋削工程を1本の刃物で行うことが可能となる。刃物としての基本と形状から生まれる利と不利を踏まえていれば、必ずしも教科書的制約にとらわれる必要はない。

②CNC制御により、総形バイトの需要は圧倒的に少なくなった。倣い加工にて、汎用バイトを使用することで、さまざまな形状に柔軟に対応でき、今や殆どがネジ式のインサート（以後：替刃）であり、特別なスキルを持ちえなくともオペレーター職に携わることができる。ここで、かつては当たり前で使用された総形バイトに再度着目する。CNC制御・総形刃・替刃方式と3者の長所を融合することで大きな利が期待できる。総形バイトのある一か所を使用し、倣い加工にて所々の始末を行いながら、もっともネックとなる加工付加の高い部位を総形バイトにて一発仕上げを行うことで、圧倒的な加工時間の短縮が実現できる。しかも総形刃自体を替刃とすることで、以前と同じ要領で簡単に刃先を交換できるため、人を選ばない。

3.2 回転工具での工夫

①工程短縮と精度向上を実現するために、総形ドリルによるドリリング工程が挙げられる。たとえばタップ下穴-沈めフライス-面取りと本来ならば3工程となる部位に、総形ドリルで任意の深さまで穴あけを行うことで、3工程が1工程へ短縮となる。加えてそれぞれの同芯度や、深さ関係に気を遣う必要もなくなる。必然的に検査時間の短縮や装着ステージの節約などの利も生まれる。

②その発展形として総形複数段付きドリルを製作することで、複数種類の貫通穴加工を1本のドリルにて完結することが可能となる。弊害として、 L/D が大きくなり、ドリル剛性や穴精度の確保が難しい。破損の際、多くの加工部位が未完成となり、手直しが必要な場合、非常に手間がかかる（あるいは手直し不可能）などが挙げられる。メリットとデメリットの中で最適な形態を確立する*）。

*）ドリルの振動に対して大きくかかわってくる要素が、ドリル径に対するチゼルエッジとリップハイトの関係である。ソリッドドリルなどの製作品の場合、フルート形状の工夫によりリップハイトを低く先端角を大きくすることで切削抵抗を減らし、それに適したシンニングを施すことにより、もみつけ時の刃先の定まりと、ドリリング中の振動を大幅に抑制することができる。特殊な穴形状こそ総形刃とすることで、多くのメリットを生み出すことができる。ドリリングについて深く理解すること。装着数に制限のある回転工具ユニット（以下：ドリブンツール）によるドリリング・ミーリング加工は、バイトと比較して遥かに大きな価値を決めるウェイトとなる。プラス1本の回転工具が装着出来ないために、生産が不可能という残念な事態の打開策となる。

3.3 専用ツーリングの開発

機械と刃物の中間的存在であるツーリングを工夫することで、より多くのメリットを生み出すことが可能となる。いかに良い機械であっても、刃先にその性能が、あるいは刃物自体がそこに到達出来なければ、高水準な加工の確立は不可能である。

①1本で多数の機能と役割を果たすバイトシャンクを開発することで、ツールチェンジ時間の短縮やツール装着箇所と空間の節約、あるいは本来であれば不可能であったプラス付加の加工を実現できる。図3のように1本のバイトシャンクに2箇所あるいはそれ以上の刃物を装着している。

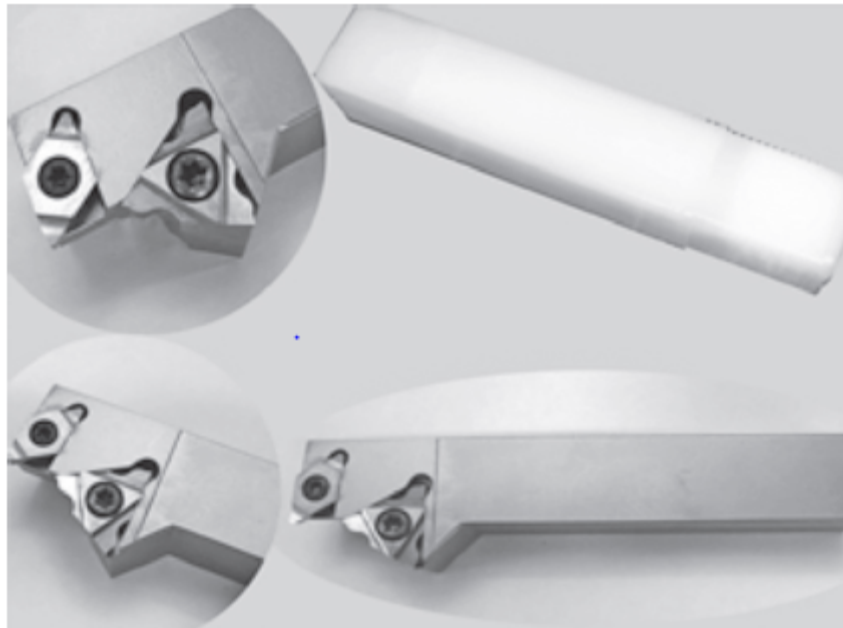


図3 1本に2個のインサートを装着したバイトホルダー(株式会社ワールドツール 提供)

②芯高方向への移動軸(Y軸など)を有する機械に限定されるが、ほかにも軽切削であればサイズ20角のバイトホルダーに10角のバイトを重ねて装着することで、何の改造も無く2本のバイトを装着することができる。図4はその発展形で、タレットに自社開発した楡刃刃物台を装着し多数のバイトを装着している。

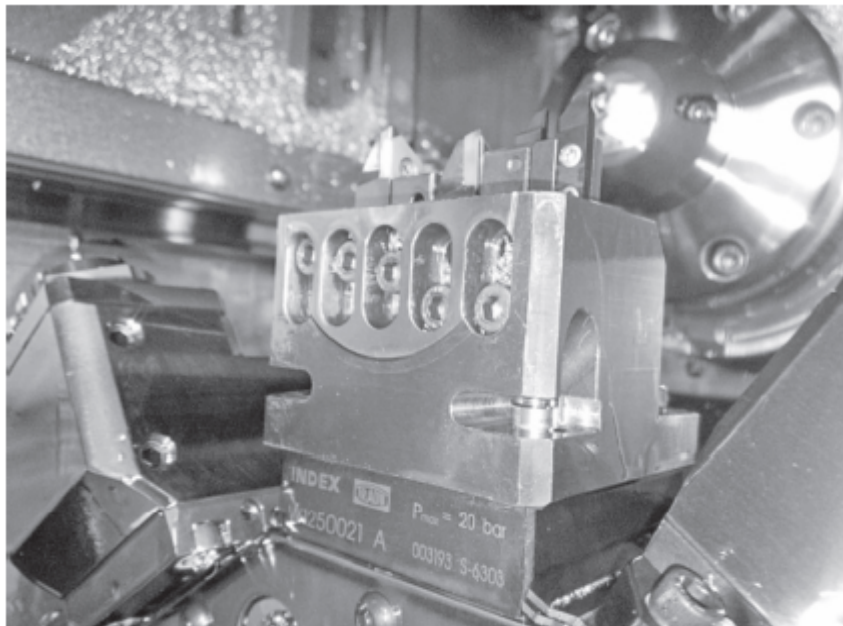


図4 タレット用楡刃ホルダーバーストップ及び機能別5本のバイトを1ステージ内に装備(当社内より抜粋)

③最近では、付加機能としてクイックチェンジ機能が追加されている。クイックチェンジの最大のメリットはツールセットアップ時間の短縮であり、各社独自のクイックチェンジシステムや大規模な工具メーカーの規格に準じて各社互換性のあるものもある。当社においても図5のような刃物をセットしたソケットASSYと、そのオフセットデータを管理することでツールセットアップ時間を大幅に短縮している。



図5 ドリルを予め装着してあるクイックチェンジソケットASSY
(株式会社BCテック 提供)

④高性能ドリブンツールユニットの採用

切削工具の能力をより有効に発揮させるために、より性能の高いドリブンツールユニットを採用する。図6は当社自動旋盤用のドリリング・ミーリングユニットである。通常ならば1本しか装着できないスペースに2本の刃物の装着に加え、2倍速での切削加工を実現し、しかもツール先端がクイックチェンジシステムとなっている。

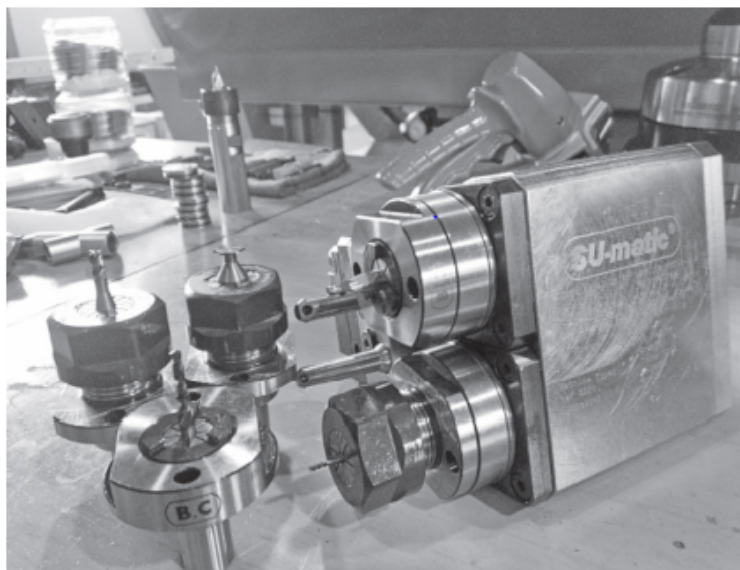


図6 SU-MATICクイックチェンジ機能付ダブル回転工具ユニット
(株式会社エスアンドエフ 提供)

3.4 チャック、ガイドブッシュ

旋盤系工作機械の素材の多くはバー材(あるいは円柱)形状であり、ほとんどの場合、爪チャックあるいはコレットチャックにて強固に把握される。多機能機ともなれば、主軸はワークを旋削工程のために高速回転するだけでなく、ラジアル・アキシヤルマシニング工程のために軸を割り出して固定されるなど、他の工作機械よりチャッキングに影響する外的特性がさまざまである。

主軸移動型旋盤であれば、大抵の場合、2～4メートル以上に及ぶバーワークをスピンドル内に抱えたまま高速回転を行う。その際、素材の固有振動周波数・クセやタワミ・素材長・回転数により、素材のバタつきが大きくなるタイミングがある。主軸後端振れ止めや給材機で抑え込んでも、連続自動運転中に突如として発生するこの事件は、加工状態を悪化させ、不良の発生や最悪の場合刃物を破損、それに起因して機械を破損させることとなる。またこの形態の機械の多くは、ガイドブッシュと呼ばれる振れ止めブッシュ付の機械が標準であり、素材は主軸チャック→ガイドブッシュ→背面チャック

の順番に通過していく。ワーク形状は径の公差が比較的厳しい長尺物を得意とするが、ガイドブッシュに十分な機能を発揮させるため、素材に一定水準以上の質が求められる。素材径のばらつきが直接的に寸法に関わる。ばらつきの最大値よりガイドブッシュは大きく設定していなければ、素材の引っ掛かりが発生し、チャックのスリップによる不良品の発生であったり、刃物や機械の破損にもつながる。

また最近の小径加工機では、テクノロジーの進歩により主軸が軽く1万回転を超える機械も普通に存在している。こうなると固定ガイドブッシュの場合、油膜の状態を制御できなければ即焼き付きを起こし機械の破損に繋がる。9,000回転を超える回転数で使用する場合、焼き付き防止のためにガイドブッシュ潤滑専用クーラントラインの追加、ガイドブッシュのパッドの材質の選定、割・スリットの数と隙間、パッド内壁のラッピング処理、油を促すためのグルーブの追加、1万回転を軽く超える超高速回転ともなれば、これらに加え、いかに油膜を均一に保ち続けることができるかのノウハウが決め手となる。信頼性の向上とミクロン台での寸法の安定化のために拘るべき箇所の1つである。

3.5 背面チャックの工夫

今やほとんどのCNC旋盤には、背面スピンドルや背面チャックを装備することができる。これにより、突っ切り端面側に穴割り・内ねじ切り・正面溝切りなど、旋削加工、ドリルリング・タッピング・ミーリングなどのマシニング加工が可能となる。さらに正面・背面主軸への工程分配による加工時間短縮、図7のようなチャックの両支持による長尺加工、高機能機ともなれば、1サイクル2種類以上のパーツの削り出しと機内アッセンブリーなど、加工機的能力が大幅に向上する。

しかし注意しなければならないことがある。背面チャックへのチャッキングでは、ワークを切り離すことで、今まですべての整合性が合致していた加工の関係性も切り離すことになるのである。背面チャックへのワークの移し替えにより、軸・位相などの精度は必ず劣化し、二度と元へは戻らない。加工時間短縮のためには工程分配を積極的に行わなければならないが、その一方で高い水準を必要とする加工は無理をしてでも片方のチャックにて一括して加工を完了させる必要がある。

正面チャック側～背面チャック側へ跨り加工を行うことは、良い結果とならないことが多い。しかし、工程の制約上、主軸側にて全加工を行わなければ加工精度を確保できないにもかかわらず、品物の形状の制約により、背面チャック側にてチャッキング不可能な形状に頭を悩まされる状況が多く存在する。先にも記したが、三次元CADなど開発ツールの発達により、このような状況はこれから先減ることはないと考えられる。

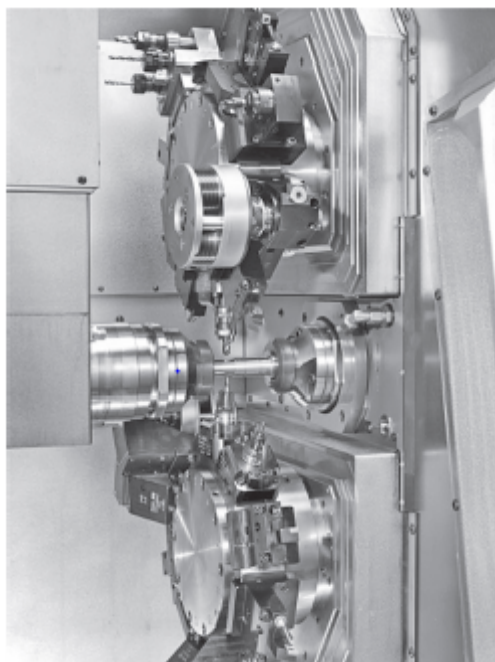
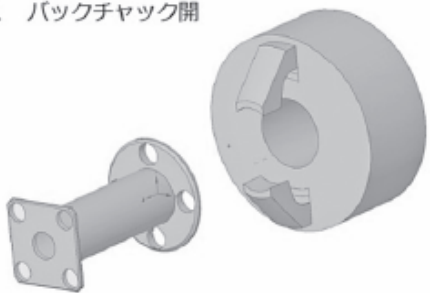


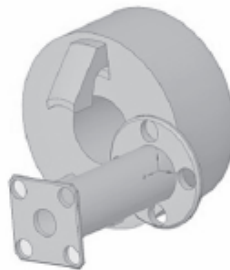
図7 トラウプTNL32-9による両支持兼2工程同時加工(YKT株 提供)

本当にチャッキングできないのか？背面主軸自体が横方向へ移動する機能のある機械であれば、図8のように干渉部位をスピンドル軸と送り軸を任意に制御することにより、チャッキングできない干渉部位を回避してチャッキングすることも可能となる。

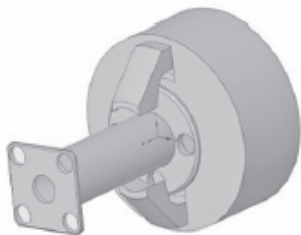
工程1 バックチャック開



工程2 スピンドル割出後アプローチ



工程3 干渉を回避しつつチャッキング位置へ移動



工程4 チャッキング完了

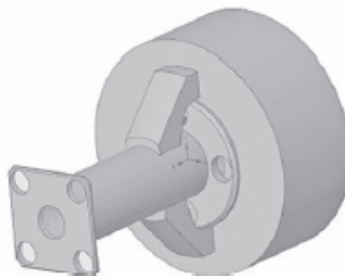
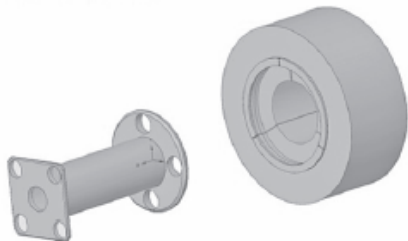


図8 工夫により、実現できるチャッキング例

また、図9のように特殊なチャックを製作することにより、前者ではチャック出来ないと考えていた部位自体をチャッキングすることも可能となる(オーバーグリッピングコレット)。そのほか、背面スピンドル内に設けることのできる製品押し出用のイジェクターに細工を施し、共掴みとすることで、薄肉パイプであっても潰すことなくチャッキングが可能となる。私は工夫次第で、チャッキング出来ない部分は無いと考えている。

工程1 チャック開



工程2 チャック完了

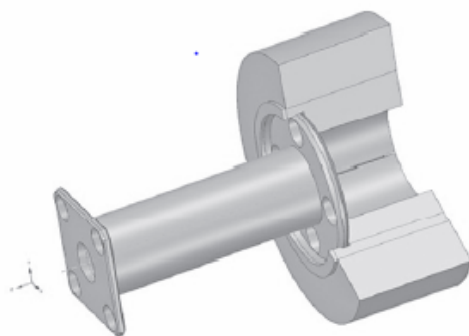
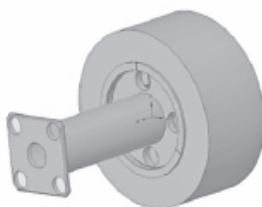


図9 特殊チャックによるチャッキング例
(カギ爪がワークフランジ前面まで拘束することにより大きな把握力が生まれる)

3.6 切削油

先のガイドブッシュでも触れたように、切削油の機能を十分に理解する。刃先の先の先の先、ミクロの世界では一体どのようなドラマが起こっているのだろうか？そこで起こっている現象は塑性変形であり、素材にホーニングRの1.4倍の喰い込みがあって初めて切粉となってポジティブに剥がれ始める。

刃物と被削材、金属同士の界面に挟み込まれた切削油が、どのように作用するのかを理解する。極圧剤として塩素が使用できた時代には、ガイドブッシュの焼き付きと刃持ちに抜群の効果を発揮してきたが、塩素の使用に制約のある現在は極圧剤として主に硫黄が用いられる。しかし塩素の1/50しか被削材への脆化作用の無い硫黄では、塩素ほどの働きができない。図10の様な極圧剤の添加など、切削油にも自社ならではの工夫を加え、そして切削の理屈をよく理解することで求められる高い要求を満たす加工が実現できる。



図10 硫黄極圧添加剤MX-200
(協和石油ルブリカンツ株式会社 提供)

4. おわりに

さまざまな工夫により、加工機の機能をより有効に使い切ることで大きな付加価値が生まれる。また、紹介した総型刃物・複数刃・ガイドブッシュ潤滑・オーバーグリップという手法は別段新しい技術でも何でもなく、高度経済成長期・カム式自動旋盤の時代、乏しい機能の中で培われ、普通に運用されていた先人の知恵と技術のほんの一部であり、ここで紹介した以外にも数多く存在する。CNCなどハイテクの発達により現在の職人は確実に知恵と技能が圧倒的に弱体化している。

ハイテクとは、頼るものではなく利用するものである。自身に叩き込み磨き上げた盤石なるローテクの上に成り立ってこそ、一般認知レベルとされる常識の遥か上での運用が可能となる。