

決着（おとしまえ）をつけろ!!

Kummer K250

“超精密ハードターニング”

松川 慈典*

1. プロローグ

…ワンス・アポンアタイム・イン・「機械と工具」

「人生はりんごに似ている。食べて、消化する。だがそのまゝに、皮をむかなくてはならない」（スペインのことわざ）

「機械と工具」の稼業においても、顧客を満足させ糧を得るためには、まず製品の皮をむき、得たい状態にすることが今のところ必要だ。

もし、りんごの皮をむく目的のために「刃物」を使わず、「すりおろし用おろし金」を使うとしたらどうか？その不便さともどかしさ、捨ててしまう皮をあえて粉砕することのむなしさ、後処理の面倒さ等々を考えれば誰も採用しない案だろう。だが、「機械と工具」の現場は違う。「刃物」は使わずそれを使う。どうやらそのことわざの意味するところよりも、もう少しチャレンジングな人生に立ち向かってきたようだ。

■旋削VS研削（第一幕）

…敗者の事情

なぜ皮を除去するために、刃物（旋削バイト）ではなく、

「おろし金」（砥石）を使用するのか？本質は、旋削という現象が、常に刃物とワークが接触しているために引き起こされる、「熱の蓄積」に対し、一定の硬さ以上の材料に対しては刃物自体が耐えられないということに尽きる。この点、研削という現象には、加工を行うことで熱を帯びた砥粒に、砥石がもう一周し、ふたたび加工をおこなうまでの冷却期間が用意されている。この黄金の休息こそが、研削を頂点とする序列を存続させてきた。ただし、熱に耐えうることで刃先の状態が安定しているのであれば、砥粒の脱落という変化や、ランダムに配置された砥粒に加工作業を一任せざるをえないという、偶然が前提の研削砥石加工と異なって、定義可能な剛体であり刃先という概念をもつ旋削バイト加工であれば、作りこまれた機械自身の精度はより正確に転写できる、という精密加工の理想（理論）は、否定されることはなかった。事実、工業製品で常にその達成精度の精細さで群を抜く、光学レンズのナノレベルを要求する金型加工（ニッケルめっき部位へのナノ加工）においては、ダイヤモンドバイトによる「旋削」仕上げが常識として確

立し、「旋削」が上位概念であることが認められていた（図1）。

その後、待望の、従来であれば熱の影響により不可能とされた、「焼き入れ鋼」を加工対象としたcBN旋削バイトが登場し、他の多くの応用例においても、「旋削」が息を吹き返すはずだった。

■ハードターニング

…第二の息吹

精度転写の高さのみが必然性ではない。他にも「旋削への転換」（以後ハードターニング）の便益は多い。まず、ツール側の「回転」運動が必須となる研削は、常にその回転スペースが必要となり、それが一定以下に狭くなることで必要な回転速度が得にくくなること、かつツール側の剛性に不足が生じることなど、ダウンサイジングという現在の課題にはまったく相性がよくない。また、砥石は、いわば平均的にレベルが高い砥粒群によって集団的に仕事を行うが、一方、どこか・だれかの脱落を前提としているため、刃先という概念が存在しにくい。したがって、汎用性が高いシングルポイントの刃先による創成加工にも相性がよくない。結果として、専用砥石を有した複数台による工程運用が避けにくい。しかも、不要な「皮」を粉砕する無駄、さらに厄介なことは、



図1 研削が偉い？：環境さえ整えば（理論上）“旋削”が優位

*MATSUKAWA, Yoshinori / エクストリーム倶 セールスマネージャー



図2 精度面に加え多くの便益をもたらす

その粉碎物には専用処理が必要となる「砥粒」が混入していることなどである。加えて、ハードターニングが可能にする、洗浄工程の軽減ともなる「ドライカット」図2は、研削においては望むべくもない。これら定性的な懸念だけでも、研削は、導入と運用双方においてコスト高となることは、棒グラフや折れ線グラフ、もっともらしい数字・表現を用いずとも直感的に理解可能である。

なお、製造部門を超え「対象ワークの設計部門」においても、製造が旋削で完了することが前提であれば、設計自由度という便益が得られる。従来、研削は、砥石の「逃がし」ゾーンが必要であり、研削を前提とする製造上のボトルネックは、設計の創造性を制約してきた。

■旋削VS研削（第二幕）

…生き残った者の掟

cBN旋削工具の変革は、従来の（粗）研削への代替に対しては、一定の浸透を得た。ただし、あまりにも長期にわたる適切な旋削工具材料の不在による「旋削はこのレベル」という常識と、であれば旋盤はそれなりのつくりでよいだろうという機械メーカーのマーケティング判断という「供給サイドの事情」のみならず、研削が頂点である

という長期の強い前提に加えて、最終工程である（仕上げ）研削をあえて変えたくないという「需要側のリスク回避の態度」から、研削を頂点とする現状は、頑固なまでに保守化したままとなった。結果として、旋削バイトで決着をつけようとする機械サイドからの主役は登場せず、また期待されてもいなかった。

■コードネームはK250

…あるいはハードターニングという名の超精密加工機

'80年代に「ダイヤモンド旋盤」でVTRヘッド鏡面加工用の超精密加工機で独壇場を築いた後、自動車部品加工の高速加工機を競争セグメントにしてきたKummer社（Swiss/Tramelan（トラメラン）/French Part（フランス語地域））は、双方の経験と成果を「超精密ハードターニングK250」のコンセプトに昇華させた（図3）。この、「超精密」という表現は、「超」を語頭におくことで意味を拡張させる意図から発生したものではない。ナノメートル単位で軸位置および加工制御を行う一方、これを可能にする制御系の装備のみならず、「摩擦」「熱」「振動」といった外乱要素をいかに制御するかを考慮して開発・設計・製造された機械、という分類上の表現である。

ビジネス慣習に従い、3点で要約すれば、①HRC64（プライヤの刃先硬度に相当）程度の硬さまで加工可能、②その大きさは手のひらサイズ程度、③0.01 μ m（10nm：バクテリア身長の200分の1）の分解能で制御となり、従来の旋盤の延長



図3 Kummer K250：コンセプト

上にはないという意味において「ゼロベース」からうまれた機械となる（図4、5）。

曲げ・ねじれ剛性が高い、四角材の断面を模した「ロ(ろ)」の字構造」躯体、機械精度の転写を極限に追求するがゆえ必須となるナノ分解能、単一素材の限界を打ち破る複合素材、熱・振動影響を最小限にする左右対称構造、回転精度と剛性を両立する油圧静圧軸受スピンドル、ハイ・ゲインを得てスケールフィードバックを安定させるためのニードルコロガイドといった「超精密加工機」のコア技術と、低慣性で加速度向上に優れるリ

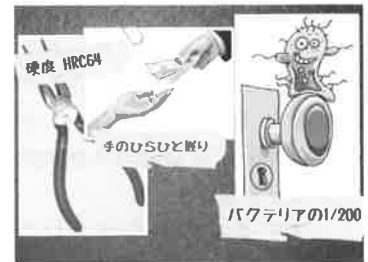


図4 K250：featuring



図5 K250：フロントビュー

ニアモータ、軽量・高速で、加工点とスケール間の距離を最短化しスケールエラーを最小化するパラレルリンク、スピンドルがオペレーティングドア正面に配置することでワークハンドリングを軽減する正面構造などの「高速加工機」のコア技術が、cBN旋削バイトの登場によって再度めぐり合い、超精密ハードターニングという待望の新規カテゴリが生みだされた。

2. 超精密ハードターニングの解剖学

■本体

…「これは旋盤なのか？」

一見して旋盤と異なる佇まいは（図6）、K250がcBN工具に持ち替えただけの従来の旋盤と同軸上にないことを仄めかす。通常、オペレータの左側面に位置するはずの主軸スピンドルは、正面中心から吊り下げられる。その左右対称の箱型構造は、ねじれ・曲げ剛性の向上、加工点を本体中心に配置可能であることによる熱・振動剛性向上のみならず、cBN工具の熱伝導性の高さからくる熱を含んだ切り粉を（熱影響の少ない）中心から排出できるという副次的なメリットを生む。

一方、素材面からは、ねじれ・曲げ・引っ張り剛性に優れた鋼と、振動吸収性、熱伝導と

変位に鈍感であるコンクリートとを組み合わせることで双方の素材特性のデメリットを補間し合う。また、この構造・素材面での組み合わせは、自身の重量を最大化できることに繋がる。7トンにおよぶ質量の確保は、後述の「パラレルリンク」スライドの特徴とあわせ、cBN旋削バイトを「予定された寿命」まで、無事に完遂させることに寄与する。

■リニアスライドLSK

…「アッペ」の原理主義者

クロスビームに吊り下がるX/Zスライドとスピンドルは、クラシックな工作機械を見慣れた眼には挑戦的とも映る。

また、このレイアウトは、不動の原理である「アッペの測定原理」の軽視であるようにも見える。

測定スケールと測定点は同一軸上にあるべきとする同原理は、スケールフィードバック制御の工作機械の場合、測定スケールの位置と加工点の関係に当てはまる。K250のX/Z両軸を重ねるレイアウトは、「アッペ」の原理に逆らうレジスタンスなのだろうか。現実、いわゆる（従来の）クシ歯型旋盤は、この軸の重なりを避けたオーソドックスなレイアウトであり、同原理に適う。しかし、K250はこの挑戦的レイアウトをもつ

てなお、見事な「アッペ主義者」である。

Kummer考案の patents 技術であるLSKは、X/Zを同一平面にレイアウトし、軸位置の測定スケールと、加工点の距離を最小限としながら、各々の軸を独立かつ相互に駆動するパラレルリンク構造となっており、ユニットA・B（図7）が同期することで径方向X軸、いずれかのみが動くことで軸方向Z軸が駆動する。

スライドの駆動は、構成部品がシンプルであることゆえ、ロストモーションが少ない、低慣性のリニアモータに拠る。同モータの特性は、スライドに採用する加工点剛性の高いニードルコロの特性とあわせ、スケールフィードバックを安定させるために必要な「ハイ・ゲイン」を得ることに貢献する。

軽量・低慣性の同スライドは、60m/min、1G高加速度（時速100km/hに達するまで2秒台の加速：最新鋭ハイパフォーマンスカーの全開加速に相当する）を引き出し、ニードルコロの低摩擦係数と、リニアモータの伝達ロス少なさは、ナノオーダーの高分解能に追従する応答性を生み出す（図8）。

■本体とスライド

…「静と動」「光と影」「白と黒」「共感」「共鳴」は、人間社会

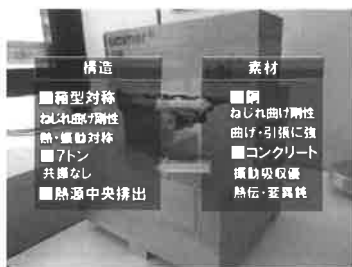


図6 本体（模型）featuring

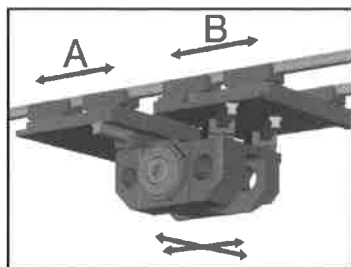


図7 K250 LSK：パラレルリンク

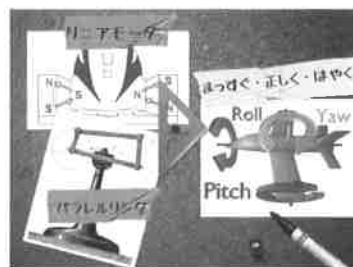


図8 LSK：featuring



図9 本体とLSK：決して共鳴せず

には重要であるが、超精密ハードターニングにおいてはそれと無縁でなければ、その使命を達成できない。

「共振」はしだいに「増幅」し、その振動は、cBNバイトのチッピング（欠け）を引き起こす原因となりやすい。軸移動に伴う様々な挙動に、もっとも大きな要素である本体は一切影響を受けてはならない。7トン（7,000kg）の本体に対し、200kgほどのLSKスライドは、ニードルころによるころがり案内によりきわめて滑らかに移動する。これは、MTRV



図10 主軸：featuring

大型軍用トラック（約7トン）の荷台で、宇宙飛行士（服込み約200kg）がムーンウォークですり足移動しているかの如きである（図9）。

■主軸

…深く静かに、そして自在に

「超精密加工機」の定番技術である「油静圧軸受」の採用は、振れない回転による真円度向上と、油膜のダンピング効果による振動吸収性に加え、空気静圧の2倍の剛性を確保し、かつ回転数による剛性低下の懸念がない。また、低慣性の回転モータは、最大回転数までの所

要時間は1秒と、ワークハンドリングのアイドルタイムを軽減する。加えて、7KWの出力を与えられることで、付加的な機能にも対応する。たとえば、腕時計のケース等、加工箇所が偏在するワークにおいても、自動カウンターバランスを利用したCNCによる自動偏芯機能により、1回のクランプで全ての加工を完了する（図10）。

■サムライの決着

…Au Revoir（さよなら）、研削！

すべて準備は整った。そして事実が得られた。精度はもとより、特筆すべきは加工時間のレベル感である。（図11～14）

3. エピローグ

… A Better Tomorrow

セットアップの素早さは、まったく次元が違っていた。

K250のオペレータは「コメか？サクラか？」と聞いてきた。反射的に「コメだ」と返すと、黙ってシーメンス840Dのキーを叩き始めた。ほどなく、K250は加工を始めた。ドライカットだったが、手のひらに受け取ったワークに熱は感じない。その側面には、コメの模様が施してあった。サクラもリクエストしようと思ったときに（図15）、彼はわたしにした質問を少し変えて、同じように誰かに聞いた。

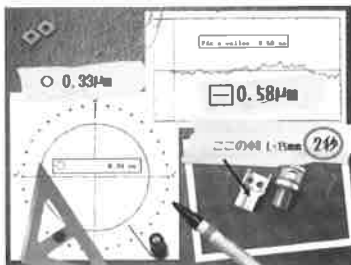


図11 Result I：効果と効率が高次元でバランス



図12 Result II：最短工程を最小限の運用コストで実現

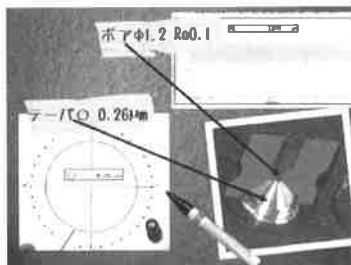


図13 Result III：ダクンサイジング・設計自由度への適合性

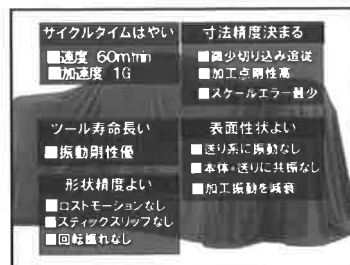


図14 Kummer K250：シルエット



図15 「コメ？サクラ？他には？」