

◇ 砥粒加工研究会設立 50 周年記念特別企画 砥粒アーカイブス ◇

砥粒加工分野を切り拓いた人々 第 8 話

宮下 政和 氏



砥粒加工との出会い

敗戦直後の日本では、資源のない国が再生するには省資源で付加価値の高い、たとえば、時計、カメラ、ミシンなど精密加工部品からなる商品の開発が不可欠であるといわれた。私が大学を卒業した 1951 年当時、機械系大卒の約 80% は生産現場に配属されたといわれる。1950 年代には、米国より品質管理の手法が伝えられ、本格的な大量生産方式が始まろうとしていた。

私の所属した軸受メーカーの研削現場がそうであったように、当時のものづくりはほとんど技能者に依存しており、我々はそのづくり現場における第一世代の大卒者であった。

他方、研削技術に関する研究者の間では、上述の現状を改革し、研削技術を学術としての体系化を狙う動きが高まった。代表例として、1951 年には佐藤健児先生の「研削理論」が精機学会誌に、また、1952 年には朝枝敏夫先生の「超仕上げ加工」が東工大学報に発表されている。いずれも砥石の切れ刃としての砥粒の働きに着目し、その損耗形態と研削機能の関係を論じている。砥粒加工研究会は、上述の時代背景の下で「技能」から「技術」への発展を志して生まれたものである。

1955～1965 年時代には、個々の砥粒切れ刃の基本的切削機能、減耗形態に関する実験的研究が多くみられた。今中治先生主査の「研削砥石の性能向上に関する研究分科会」は、私の砥粒加工の研究グループとの最初の出会いの場である。また、CIRP との関係では、切削部門 STC-C に属していた砥粒加工を独立した部門とすべきであるとの熊谷直次郎、小林昭両先生の提案で、STC-G が新設されている。

1965～1975 年に入ると、共通の砥石、ドレッサを用いて各国の研究機関を横断する砥粒切れ刃分布を実測しようとする STC-G のプロジェクトが発足し、我が国でも小林昭先生を中心として 10 機関が参加している。切れ刃間隔、切れ刃高さの分布の測定がテーマである。私もこの計画に参加し、八角リング、PZT を用いた研削動力計の設計に関する論文を CIRP に提出する機会に恵まれた。また、この時期「研削砥石の単価がウエスと同列」との嘆きが各砥石メーカーから聞かれ、砥粒加工研究会の企画で当時の砥石工業会会長の三井研削砥石社長・古長さんと貴志先生、そして私が加わり、砥石の付加価値改善策を論じたこともある。当時、アーヘン工大の Opits 教授提案の高速研削の検討が盛んで、このため砥石メーカーはその安全対策に苦慮した時代でもあった。

小林昭先生の後を引き継いだ 1975 年当時は、大学紛争の社会的影響が残り、これを受けた工学部カリキュラムのあり方が論じられ、基礎工学を中心とした教育の主張が強く、工場実習不要論も聞かれた。このような風潮の中では大学と企業間との共同研究も困難であった。この傾向を打破する企画として「研削加工の現場と研究を結ぶティーチン'80」は印象に残るものであった。

他方、研究会の会計事情も悪化し、パートタイムの事務員の給料も払えず、会誌発行も年 4 回に縮小せざるを得ない時期でもあった。

このような状況下で、熊谷記念賞の記念品として研究会のマークをかたどった砥石製の盾を無料で作っていただいた三井研削砥石(株)のご好意は忘れられない。

研削作業現場における技能者と技術者

1983 年、CIRP で発表された R.Kegg による“Industrial Problems in Grinding”で指摘されているように、研削加工は産業界からみて未だ Black Art (魔術) で、生産現場でこれを補っているのが技能者であるといわれる。最近、団塊の世代の大量退職を前にして、生産現場では技能者のもつ“暗黙知”を大量生産、自動化の前提としての作業のマニュアル化が論じられている。いわゆる“暗黙知”から“形式知”への変換問題である。

昨年 8 月の CIRP において、STC-G の Keynote Paper の中で最近 5 年間の研削過程のシミュレーション、モデル化に関する論文数を研削実験にかかわる論文数と比較し、前者が後者の 7 倍以上に達すると伝えている。これは研削過程の入出力の関係をマクロ的に定式化、すなわち、“形式知”に変換しようとする努力の反映ではなかろうか。研削技術本来の体系化とは異質の方向ではないかと疑われる。

生産現場での私の経験から考えると、現場技術者は技能者との交流の中から技術的課題に関する示唆が与えられ、“技能”の一般化への道筋を日々考えるのが技術者の役割である。このような経験は職場における人間関係を前提に成り立つもので、居酒屋で塩をなめながらの肴酒で議論を重ねた敗戦直後の貴重な思い出である。技能者の“暗黙知”が技術体系の中での一般化に努力を重ねた結果が真の“形式知”につながるもので、その中には技術者の誇りがあることを忘れてはならないと思う。

私のたどった研削技術

私の職場には Cincinnati, Lidkoping, BSA など各種の心なし研削盤があり、それぞれの技能者が、たとえば、工作物を支える心高を工作物直径を尺度としていろいろな設定をしており、成円作用やびびり振動現象と結びつけた主張をしていた。このような心なし研削盤のセットアップ条件と加工精度との関係の議論は、新米の技術者にとっては説明のための仮説的モデルを考えることも不可能であると同時に、生産現場にこのような



(ご略歴)
宮下 政和 (Masakazu MIYASITA)
1927 年生
専門分野 超精密工作機械、
超精密研削加工

〒185-0022
東京都国分寺市東元町 1-13-5
TEL: 042-325-1035
FAX: 042-321-1003

学会受付日：2007 年 2 月 16 日

新しい技術的検討課題があることに驚いたものである。当時会社の図書室で米国の雑誌“Abrasive Industry”(1925~1932)と出会い、とくに、1926年2月号に当時の工作機械識者の意見として「心なし研削法は、これまでの研削盤にはみられない新しい機能が期待されると同時に、その解析には多数の優れた技術者、研究費、研究時間が必要」とのコメントを発見し、自分も生産現場でその解析を試みようとした。工作物の調整砥石、受板頂面のV字形支持の下で、工作物歪円が砥石切込みの変化にどのように影響するかをベクトル的に計算しはじめたのが、心なし研削に関する研究の第一歩で、就職2年目の1952年のことであった。

その後、J.G.Truxalの“Automatic Servo Control System Synthesis”(1955)に触発され、研削加工系を伝達関数で表現できないかと考え、切残し現象を1次遅れ系と考え、研削系の時定数を導入した。1967年には心なし研削系のブロック線図を導入し、特性方程式の形で研削系の力学を表現することができた。

しかし、研削加工の場合には前加工によるうねりが次の切込みに影響を及ぼす再生効果のため、特性方程式は差分方程式となり、特性根を求めることは困難である。また、一般の制御系では安定判別式が重要で、不安定振動の成長過程には興味が薄い。研削過程では、砥石再生形自励びり振動のように分オーダで振動が徐々に成長する現象があり、不安定振動根の解析が不可欠である。

特性根が差分方程式となる代表例は航空機エンジン推力の制御系である。すなわち、燃料制御弁の出力がエンジン内の燃焼による推力の発生までの時間遅れを伴う制御系である。1948年、ASMEにあるこの特性根の図式解法をたまたま発見し、研削加工系の特性根の求め方としてその後の研削系の力学解析で大変お世話になっている。制御工学の教科書では、これをSotché's Diagramとして紹介している。

心なし研削加工における加工精度を考える場合、運動転写原理から工作物を回転保持する調整砥石の回転精度、形状精度、また、工具である研削砥石の回転精度、形状精度などKinematicな因子の検討が課題となる。砥石軸、調整砥石軸の回転振れは静圧軸受の導入により0.1μmオーダのぶれは困難な目標ではない。問題は、ツルレーング/ドレッシングと呼ばれる脆性材料である砥石の脆性モード除去加工による、砥石の形状精度の現状である。

1980年前後にはLLNLを中心として超精密ダイヤモンド旋盤が注目され、さらに、光学部品のニーズから脆性材料の光学的精度を満足する研削加工が課題として登場した。当時の研削加工技術の社会では脆性材料の加工の知識が乏しく、宝石加工の専門会社のイマハシ製作所社長の今橋孝弘さんからダイヤモンド砥石による研磨の現状を教わったものである。De Beersから寄贈された“The Diamond”(1934)の中で“Diamond Cut Diamond”を発見したのもその頃である。当時、今橋さんからいただいたダイヤモンド切断砥石の側面で歯科用ダイヤモンド砥石を削った目のことを今でも鮮やかに覚えている。歯科用ダイヤモンド砥石の砥粒頂面が透明に削れ、まったくクラックの発生が認められなかった。その翌日、実験室で心なし研削盤の砥石で直接調整砥石を少しずつ研磨していくと、みるみる調整砥石面が鏡面に変身!したのである。

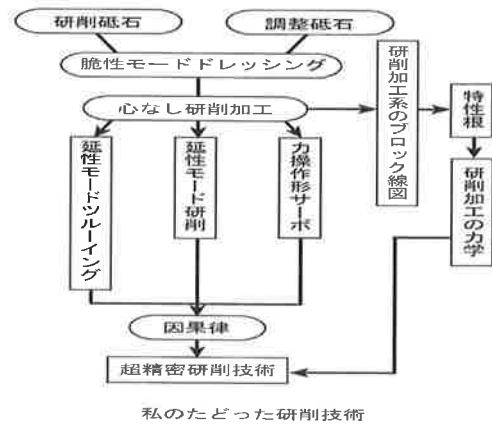
この経験から間もなく延性モードツルレーングの着想となり、また、水晶振動子用ウエハの延性モード研削へと展開することになる。調整砥石の形状誤差は約10分の1に減少し、砥石寿命を決める減耗量も桁違いの減少となった。

延性モードツルレーングで得られた砥粒頂面は透明で平坦であるから、従来の研削加工で砥粒頂面の脆性破壊層を切

れ刃とする考え方からは見つけれ状態、研削機能が失われたことになる。

熟練工の研削技能の代表例に“鏡面研削”がある。熟練工にいわせると、最初捨て研で砥石の目を注意深く“殺し”た後に微小な砥石切込みを与えると鏡面を得るといふ。この領域では自生発刃現象は期待できず、R.S.Hahnさんらのいう“Rubbing, Plowing”領域とも重なると考えられる。このような想いから生まれたのが私の考える“超精密研削加工”の世界で、材料除去率向上による生産性向上の方向とは逆に、0.1mm³/mm・s以下の微小な材料除去加工の世界に運動転写原理の研削技術を持ち込むのが目的である。

このような世界における研削機械では、テーブル送り系の分解能はナノメートルオーダを要求されると同時に、振動的な外乱および不安定振動の発生しがちな研削加工系の特性として、超精密旋盤に多用される静圧案内の弱点である動剛性不足への対策が不可欠である。そのためには、制御系のカットオフ周波数とは無縁な滑り案内方式が期待できる。しかし、この方式には古来スティックスリップ現象が伴い、低速送り領域での精度限界がある。これに対する対策についてもそのアイデアを現場における名人の作業からヒントを得ることができた。津上製作所には30年ほど前、長尺物の精密研削の名人がいて、レストを3~4台も用いて真直度、円筒度のきわめて高い研削精度を出していた。この方の作業をどくお願いして半日見学させていただいた。この方は研削火花の様子から工作物直径がどれだけ減少しているかがわかるという。作業手順は、レストと対抗位置に砥石を当て、プランジ研削で工作物回転中心が移動しないようにレスト送りねじを手動で調節する。各レストごとに工作物寸法を所定範囲に収めたのち、トラバース研削に入る。この見学から円筒プランジ研削において、研削力に等しい力で工作物を押し返す“負荷補償形ワークレスト”を考案することができた。このような方式は一般的に力操作形サーボ系といわれ、200kgの滑り案内テーブルをナノメートル単位で送ることのできる制御系の開発につながっている。下図に自生発刃研削技術から超精密研削技術への流れを示す。



次世代へのコメント

「一隅を照らす」という生き方がある。技術の一隅にあつて社会に貢献する技術者にとって、もつともふざかしい言葉ではなからうか。照らすべき一隅の発見は技術者に志を与え、こだわりを与え、集中力をもたらし、時を経て技術的成果として花を咲かせる。長い技術者人生の中で自らの道を貫くことは決してやさしくはないが、一隅を照らす人生を送る喜びを目指したいものである。

低賃金を求めて発展途上国に進出し、当面の価格競争のみに走る最近の風潮の先に、長期展望に立つ産業社会を支える技術立国の将来が開かれるのであろうか。