

◇ 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 13 話

井川 直哉 氏



砥粒加工学会との出会いと今日まで

大阪大学工学部を卒業して約一年間の物づくり実務を経験し、考えるところがあつて丁度席の空いた母校の助手としてお世話になることになった。学会の前身である砥粒加工研究会が発足した頃のある日、大学構内でたまたま恩師の津和秀夫助教授(当時)を訪ねて来学された方に先生の研究室の所在を問われ、ご案内したのは小林 昭先生であつた。当時、西と東でそれぞれ砥粒加工の若手研究者の中心となつて活躍されていた両先生はその日、研究会の運営やその将来を語り合われたのであろう。

程なく関西砥粒加工研究会が正式に発足し、諸先生の指導を仰ぎながら研究室のスタッフと共に事務を担当し、後に運営にも加わることもなつた。このような経過の中で、関西に限らず大勢の先達から多くの教えやご支援を受けた。熊谷直次郎先生をはじめ数々のお名前を思い出す。本アーカイブスご執筆の諸先生は勿論である。それは個人的な交流も含めて私の大きな財産となつた。今更ながら感謝の念を深くしている。

両砥粒加工研究会が合体、法人化され砥粒加工学会として発足する際には、当時の関西砥粒加工研究会会長 松森 昇博士(本連載、第6話執筆)と共に岡村健次郎先生を始め関西在住の先輩諸氏に経緯説明に参上したことを想いだす。その後、個人的な研究環境の変化もあつて研究活動は外見的には若干学会とは疎遠になつた時期もあつたが、砥粒加工に対する想いは変わらなかつた。お陰で、大会の特別講演(基盤技術としての研削加工、1991. 9 月、砥粒加工が拓くナノワールド、2004. 9 月)の責を果たすことが出来た。また 2001 年に共同研究者と共に発表した論文(分子動力学シミュレーションによる単結晶シリコン理想表面生成プロセス予測、本誌 45,4, p.175)には熊谷賞が授与された。一途な想いが報われたものと感謝し感慨に浸っている。

物づくりの道へ

振り返ると、工学—機械—物づくり、という専門への道は極論すれば「幼児体験」がそれをきめたように思う。機械部品を玩具かわりに遊んでいた小学生から高校(当時は旧制中学)に進学しても技術者になるのは当たり前と考へていた。大学は周囲に相談もせず、またろくに情報もないまま大阪大学工学部を選んだ。友人も大体そんなもので、地方の高校生にとってはおおらかな時代であつた。

大学 2 年次で専門課程を決める際には、ちょっと変わった機械系ということにひかれて、当時世界で唯一の学科名をもつ精密工学科を選んだ。「精密」との永いつきあいの始まりであつた。緊張して受けた最初の専門講義が津和先生(図 1)による「機械製作法」でひどく新鮮に感じた。当時先生はラップ仕上げの研究に没頭されていた時代で、航空機燃料ポンプ



図 1 還暦祝賀会の津和先生(右)と筆者(1980 年)

の加工における加工面精度と機器性能の関係を例として物づくりの大切さを説かれたように記憶している。この時の印象が大げさに言えば私のその後 50 余年の方向づけをしたともいえる。以来、切削加工と砥粒加工の間を往き来しつつ、またそれらを支える機器の精度(敢えて言えばその極限)を強く意識しつつ、まだやり残した事に多少の未練をもちながら過ごしてきたと言えようか。

研究遍歴とある転機

ここでは、多くの協力者と共に行つたダイヤモンド工具とその関連研究の流れを紹介させて戴きたい。私とダイヤモンドの出会いにはダイヤモンド砥石で始まつた。1950 年代の後半、まだ産業界でもそれは貴重でかつ珍しい時代で、専ら超硬工具の研削仕上げに適用されていた。そこで砥石構造と性能の関係、研削条件の加工結果への影響などを調べてダイヤモンド研削技術を体系化するのが主な目的であつた。

一応の成果(学位論文、1965 年以下同様)を挙げたものの、加工現象の複雑さに閉口し、この技術の中で研究対象として不変のものは何か? という疑問がついて離れなかつた。それは多分、物質としてのダイヤモンドであろうと考へ、まず砥粒単粒の作用と性質の解明に手を付けた。ダイヤモンド単粒の瞬間切削力(最初の論文発表 1964)、動的強度の解析(1966)、熱損耗特性の実験(1970)へと続く。各種の鋼材をダイヤモンド単粒で模擬研削(多数回の高速度引掻き)し、被削材硬度の最も低い純鉄の場合に最も大きな工具摩耗が観察された結果から、ダイヤモンドの熱化学的摩耗機構が推論された(1970)。成り行きとして当然、試料として砥粒よりは単結晶を探り上げ、より一般性のある各種工学物性を研究対象とすることになった。まず、 μm 規模のクラック発生をアコースティック・エミッション(AE)信号で検出する、硬脆性材料の強度測定法を開発した(1982)。これを利用して各種の科学的手法で欠陥が同定されたダイヤモンド試料について強度測定を行い、工具材料としての非経験的選別への展望を得た(1985)。

ダイヤモンドの優れた物性が明らかになるに連れて、その極限切削能力、さらには切削加工の極限加工精度への興味が強くなつた。当然、関連技術として、nm レベルでの工作機械や計測技術の知識が必要となつた。工作機械の位置決め精度の基礎解析(1975)、nm の分解能を持つ光電変位センサーの開発(1987)、それを利用した空気ベアリングの nm レベル



(ご略歴)

井川 直哉 (Naoya IKAWA)

1933 年生

大阪大学・大阪電気通信大学 名誉教授
専門分野 精密加工学、精密機器学、

〒666-0143 兵庫県川西市清和台西 2-4-4

TEL & FAX: 072-799-0997

e-mail ikawan@jittk.zaq.ne.jp

(学会受付日: 2008 年 3 月 16 日)

での挙動解析(1986)、レーザ光線の直進基準としての可能性解析(1988)などの研究が想い込まれる。

私達のダイヤモンド工具研究において一つの転機となったのは、1980年代半ばに発足した米国ローレンス・リバモア国立研究所との共同研究であった。当時、同研究所では慣性核融合(レーザ核融合)炉の重要な構成要素である強力レーザ光源の反射集光ミラーの製作を担当する精密工学プログラムが発足していた。それは無酸素銅を素材として、nm レベルの加工面粗さと複雑な形状を持つ金属反射鏡の超精密切削仕上げ(SPDT)を目的としていた。そのリーダーが私たちの研究に興味をもち、日米科学共同事業の一つとして公式には1986年から2年間の共同研究が発足した。この間、日本側は精密ダイヤモンド工具の供給、米国側は同研究所の当時世界最高と言われた切削実験装置(LODTM)による切削実験を担当した。実験計画は双方の長時間の討論によって練ったものだが、米国側の支援設備、組織が充実しているので信頼できる結果が素早く得られた。お蔭で、電着銅の切削実験において公称切り厚さ約1nmの切削が可能であることを証明できたし(図2)、nmレベルの刃先形状精度を持つダイヤモンド切れ刃が実現し得ることもわかった(1993)。

これらの結果は、nmレベルの精度を目指す超精密ダイヤモンド切削の可能性に確かな根拠を示すと共に、一方では、より正確な現象解析のためには従来の連続体モデルが不十分であることを示唆する事にもなった。こうして取り組み始めた分子動力学シミュレーションは、工具・工作物の異原子間相互作用としての粒子挙動によって切削現象を記述するもので幾つかの成果(1993)を挙げてはいるが、必ず実用的問題となるダイヤモンド工具の摩耗機構の体系的理解(2000)に向かって今後の進展が期待される。この手法は単結晶シリコンのポリッシングの未来予測にも応用されている(本稿前出熊谷賞参照、図3)。

体験的物づくり研究論

物づくりの研究には実用研究、開発研究、基礎研究など色々なタイプがある。その中で“基礎研究”について私は次の

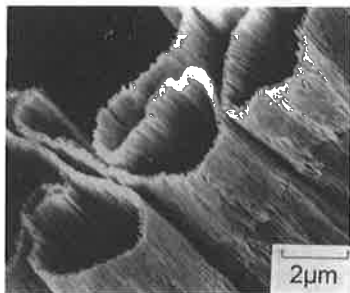


図2 設定切り厚さ約1nmのダイヤモンド切削で得られた無酸素銅切りくずのSEM写真

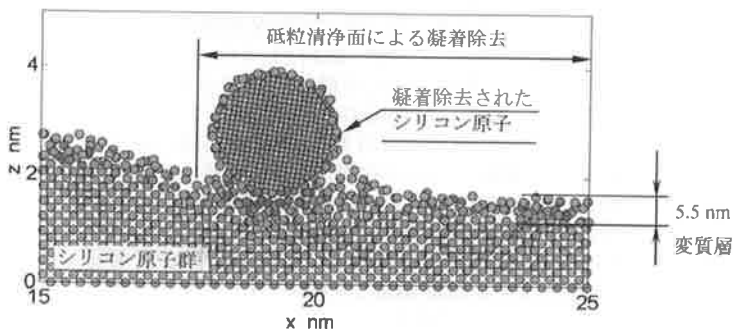


図3 単結晶シリコンのメカノケミカル・ポリッシングにおける分子動力学シミュレーションの一例

ように考えている。工学における基礎研究は、その結果が出来るだけ広く活用されるという有用性・展開性、それ自身の主体性・独創性・能動性などが求められる。超精密切削加工や砥粒加工は確かに物づくりの手段であるという受動性は否定できないが、加工結果としての寸法・形状精度が、完成されたシステム全体の機能限界(例えば光学機器の集光性能)を決めると言う意味で能動的である。それはまた学問的にも、高温、高圧、極微、界面などの、いわばある種の極限条件下の物質挙動を対象とする意味で、先導的、主体的であろう。そこでもたらされる情報の応用は広い展開性が期待できる。

この種の研究過程で心がけていることがいくつかある。素朴な疑問、素直な思考、“雑音”を極力排した実験・計測などである。勿論、深い洞察力、鋭い直感が必要だが、これは神様が各人の努力に応じて与えて下さるものでどうにもならない。

研究の実行にあたって私達は、計測器をのぞけば既成の商業機器をもちいることは殆どなかった。必要なレベルのモデル化が一般に困難だったからである。正確なモデル化の出来ないシステムを用いて得た実験結果は、応用の一般性と言う観点からはある種の危険性をはらんでいる。基礎研究に携わるものとして心がけておきたい。

一方、現実の物づくりでは当然きわめて多くのパラメータが加工結果に関係する。だが適切なモデルが正確に構築され、かつ昨今の情報検出・処理技術をもってすれば現象の予測、制御を行うのに本質的な障害は少ないと言えよう。残されるのは研究・解析コストと効用・効果とのトレードオフの問題である。しかしこれは、関連技術の進歩によって近い将来飛躍的に改善されることすら予想される。

極限技術としての砥粒加工—その文化的側面

砥粒加工が物づくり技術として産業に大きく貢献してきたことには誰も異論はあるまい。だが、従来できなかった事あるいは物を実現する“かけがえのない”技術の担い手としての、いわば文化的一例例えば芸術のような側面を語られることは少なかつたのではないだろうか。

太古の信仰の象徴としての古代鏡の磨き技術、1960年代以後の電子・光学素子基板の極精密加工、宇宙望遠鏡の研磨、これからのX線用や重力波望遠鏡用ミラーなどの極精密加工のいずれもは、砥粒加工を源流とする磨き技術の極限であり、これらの人類が共有する文化への貢献を見落としてはならない。

加えて私が感銘を受けた最近の例をご紹介しておきたい。それは一般相対論の検証のために打ち上げられた宇宙船に搭載されている極精密ジャイロ(Near Perfect Gyro)の話である。GP-B計画(Gravity Probe B)と呼ばれるこの壮大な計画では、地球の巨大な質量と自転によってもたらされる2つの効果としての“空間のゆがみ”を、宇宙の一点に向けて定位されて高度670kmで地球を周回する宇宙船上の極精密ジャイロの回転軸に生じる宇宙船に対する相対的偏り角(それぞれ6.6秒および39ミリ秒/年)として捕らえ、ミリ秒単位の精度で計測することが目的である。そのために必要なジャイロ回転体は誤差10nm以内の“真球”にポリッシングされた直径約38mmの超高純度石英球が用いられている。逆にいえばこの真球の完成が最重要な鍵の一つであったともいえる。宇宙船は2004年4月に打ち上げられ、その後の17ヶ月間の計測を成功裡に終えて昨年3月にその報告がなされた。程なく科学的分析も公表されるであろう。

これらの極限技術は突然成功したものではなく、永い歴史に育まれた砥粒加工技術の基盤があって始めて花咲いたものである。これからの砥粒加工技術者・研究者に望みたいのは、単なる産業的貢献ばかりでなく上にあげたような文化的貢献についても誇りと責任を感じながら、腰を引くことなく、先端的科学・技術に対する鋭い感受性をもってそれぞれの道を進めることである。