

学生の居眠りと誠実な振る舞いが拓いた新機軸

——トライボナノリソグラフィー*1の発明——

森田 昇

Noboru MORITA

1. 再び研究の ECSTASY が訪れる@千葉大学

1998 年 7 月のある日の午後、打合せを終えて実験を開始した C 君が、しばらくして部屋にやってきて、「先生、すみません、実験は失敗しました」と言ってデータを広げて見せた。「えっ、えっ！どうしたらこうなるの?」, その不合理さにわが目を疑った。打合せでの予想とは真逆の結果だったからである。驚きと共にあの時*と同じようにゾクゾクした不思議な高揚感を覚えた。

《*修士 1 年の冬、初めて「研究の ecstasy」を感じた》

2. 思い込みと正直なほうれん草が引き寄せた女神の仕業

C 君の修士研究のテーマは、「摩擦顕微鏡 (FFM) 機構を利用した単結晶シリコン (以下 Si と呼ぶ) の極微細加工」であり、その日の実験では微細加工後の加工変質層の有無と厚さを同定するのが目的であった。

まず、独自開発の加工用カンチレバーを用いて Si (100) 面に、縦 15 μm ×横 15 μm ×深さ 30nm の凹み状の除去加工を行なう。つぎに、その試料を一定濃度・温度の KOH 水溶液中に一定時間浸漬する。KOH 水溶液は、Si の異方性エッチングに多用される。また従来から、機械加工やレーザ加工で生じた Si の加工変質層は、アルカリエッチングにより加速的に除去されるという経験知を得ていた。従って、凹み底部に加工変質層が多少とも生じていれば、選択的にエッチングされ凹みは若干深くなるはずだと推測した (思い込み)。

そして、AFM 観測によるエッチング前後の凹みの形状比較から、加工変質層厚さを同定できるものと何の疑いもなく信じ込んでいた。ところが実際の結果は、この予想を大きく覆すものであった。深くなるはずの凹みが奇っ怪にも凸状に盛り上がっていたのだ (図 1)。それを見た瞬間に閃光が走った。

冷静になって AFM の凹凸画像が反転表示になってないかなど、いくつかの可能性を確認した。しかし、唯一の事象を除いて全く問題はなかった。その事象とは、C 君が居眠りをして (家族のために夜間のアルバイトで寝不足だった)、エッチング時間が予定の倍以上長い 40 分程になっていたことだった。

C 君の正直なほうれん草 (報告・連絡・相談) の成果ではあったが、この時点では結果の真偽の見極めができないため、翌日一緒に再実験を試みたところ、予感 (期待) どころ同じ現象が眼前に現われた。前日の実験条件 (濃度・温度・時間) は、偶然にも奇天烈な加工現象の生起に絶妙に絡んでいたことが、後の系統的实验によって判明した。所与目的から乖離した偶発的な事象は、まさに女神の仕業であった。

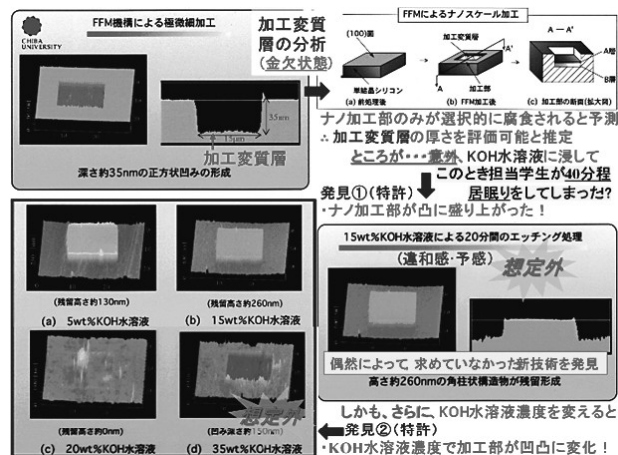


図 1 FFM 加工と化学エッチングによる未知の現象の発見

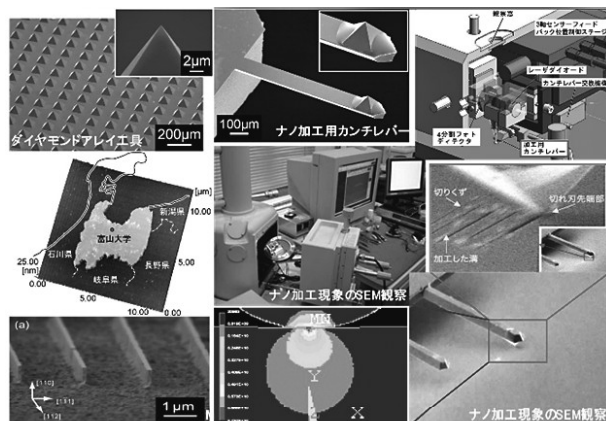


図 2 新しい原理によるナノスケール加工法の創成と進化 (経産省地域新生コンソーシアム事業成果)

3. 未知の萌芽を創造の核心へ繋いでゆく@富山大学

ここに至り初めて、エッチングに対する逆転の耐性という未知の原理がナノスケール加工法へ応用できる可能性を直感的に洞察した。その後の精緻な物理化学分析・解析・実験によって、加工用カンチレバーによる負荷荷重 (接触力) が偶然にも Si 表面に最大で 10nm 程度の緻密なアモルファス層を生じさせる応力場を与えていたこと、この層が一定濃度のアルカリ溶液に対して Si パルクの千倍程度の耐性 (バリア作用) を持つことが解明された。そして、この加工原理を「トライボナノリソグラフィー」と名付けた (図 2)。あとに、同種のメカニズムが FIB 照射でも得られることを見出し、化学エッチング併用による 3 次元ナノスケール加工法への新たな道を拓いた (図 3)。

追い求めてきた目標 (新たな極微細機械加工法の実現) へ

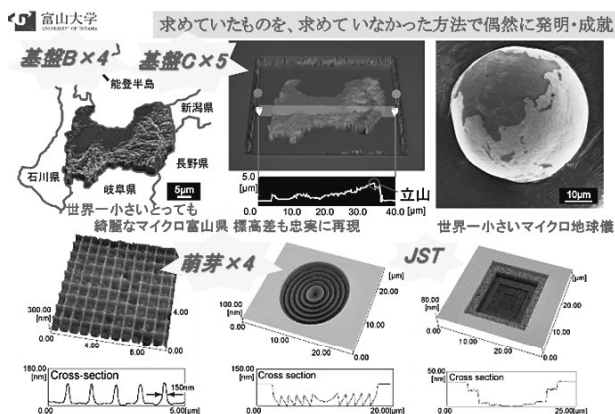


図3 セレンディピティの派生・連鎖による新展開と貢献

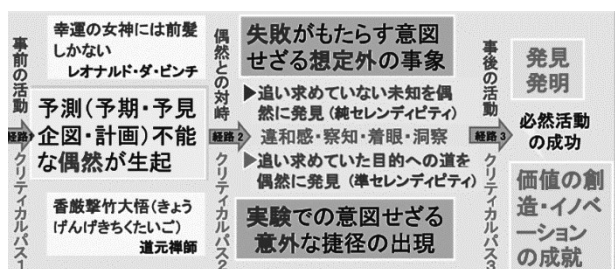


図4 セレンディピティの核心と実相

の道を思いがけず意外な方法で偶然にも見出し出したともいえるし、当初目的(加工変質層の同定)と大きく乖離した偶発的な結果から思ってもみない新発見に至ったともいえる(図4)。

いずれにせよ、のちに主席で修了したC君の居眠りと誠実な振る舞いが引き寄せた、正真正銘、唯一無二のセレンディピティであったことは間違いない。この研究の途中で富山大に異動となったが、再び千葉大に出戻って来るまでの十数年にわたって、異なる幾つかのセレンディピティが派生・連鎖し、想定を大きく超える貢献へとつながった。そこには「采配の三角形*」も寄与していた。

いま顧みると、そもそも加工変質層の観測・同定の初期段階から、もし精緻な物理分析技術に頼っていたら、この当たりくじを引き当てることは無かったかもしれない。研究費を節約した簡素な実験が功を奏した。努力の環境と仕方もセレンディピティの重要な要素の1つなのだと考える。

〔*本誌令和6年10月号連載記事参照〕

4. アブダクションでセレンディピティを設計し未来を創造する

セレンディピティを引き寄せる個人のコンピテンシー(行動特性)とは何か。また、それを支える組織のマネジメントはどうあるべきか。本専門委員会において令和5年度に実施した「セレンディピティの実態に係る先行アンケート調査」の結果(公開 URL: <https://www.jsat.or.jp/subcommit/11/report>)を、ChatGPT, KJ 法およびワードクラウド分析を併用して集約・階層化した。優先順位付けされた上位3位までの結果を図5と図6に示す(4位以下も上記 URL で閲覧可)。

優れた組織には、構成員の長所を文化として吸収できる『創造性の風土』が醸成されている。この風土の正体は、組織の深層に伏流する『知の流儀』とも呼ぶべき暗黙知(秘伝のタ

■カテゴリー1: 探求心と目的意識、実行力

強い好奇心と探究心を持ち、常に高い目的意識の下で新しいアイデアの発想を心がけ、不確実性があっても粘り強い取り組みができる。

■カテゴリー2: 創造性と感受性、多面的思考

創造性や感受性が豊かで、先入観や固定観念、常識の枠にとらわれずに、常に広い視点で多面的な柔軟思考ができる。

■カテゴリー3: 仮説構築、観察力と洞察力

強固な仮説に基づいて実験や解析を繰返し、事象を仔細に観察し深く洞察する、物事の本質を見抜く能力をもつ。

図5 セレンディピティを誘引する資質と行動特性(上位3件)

■カテゴリー1: 組織の多様性、自由で開かれたコミュニケーション環境

専門分野が異なる多様な構成員がいて、自由な情報交換(共有)や相談・議論が容易にできる。異なる領域との交流が歓迎される環境を整える。

■カテゴリー2: 寛容な意見受容を尊重する文化

人の言動や発想、ユニークなアイデアを否定せず肯定的にとらえる風土がある。風通しが良く、結果を隠すことがない開放的な雰囲気心がける。

■カテゴリー3: 生産的な失敗に寛容な風土

失敗や不確実性を受け入れ、新たな挑戦に対しても寛容な風土がある。当初の目的が達成されなくてもその過程を重視し成果へ繋げる文化がある。

図6 セレンディピティを誘発する創造マネジメント(上位3件)

レ)にあるが、これを形式知化すれば、上述のコンピテンシー(図5)やマネジメント(図6)として記述できる。これらは学会員の集団知として、極めて真実味と説得力のある内容である。

能力としてのコンピテンシーを発揮することは、セレンディピティの成就のみならず、あらゆるイノベーションにおいて有益である。加えて、明日の創造的発見のためには「アブダクション的思考能力」が不可欠となる。「アブダクション」とは、既知の情報から(多くの場合)直接観察不能な現象の背景(理論・原理)を推論する行為である。すなわち、創造的発見とは「誰も(誰か)が見ている事象に対し、誰も考えなかった本質的な意義づけをすること」に他ならない。

個人のコンピテンシーと組織の創造的マネジメント、そしてそれらをつなぐ生成AIとの共創を前提に、アブダクションによってセレンディピティを科学的に設計し、未来を創造する日は、すぐそこまで来ている。もし当時生成AIがいれば、本エピソードに現れた『不合理な盛り上がり』をどう解釈しただろうか？

5. 参考文献

- 1) 川堰, 森田ほか: 砥粒加工学会誌, 48, 8(2004), 456.



【森田 昇】(もりた・のぼる)

・千葉大学大学院工学研究院 グランドフェロー
名誉教授

・e-mail: nmorita@chiba-u.jp