

■ 研磨シミュレーションと計測

名古屋大学
鈴木教和

研磨は奥が深い……。筆者の学生時代の研究テーマは難削材料の超精密切削技術でした。切削加工は母性原理に基づくため、ナノ精度の工具形状をナノ精度の工作機械の運動により転写することで、はじめてナノ精度の加工が実現できます。熱変形を抑えるため室温は $\pm 0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 以内の変動に抑制する必要があり、独立基礎のスペースに設置した精密な除振装置に工作機械本体を固定し、精密に温調された脈動のない機械油とドライエアを供給せねばなりません。加工形状に対する自由度は確かに高いのですが(図1参照)、極限まで追求した要素技術(加工技術、工作機械技術、工具技術、計測技術etc)を最高の状態で組み合わせる必要があります。このため、超精密切削の最先端の研究をするには、学ばねばならないことも多くノウハウや経験も必要となることから、学生時代には奥が深い研究分野だと感じていました。その思いは今でも変わらないわけですが、

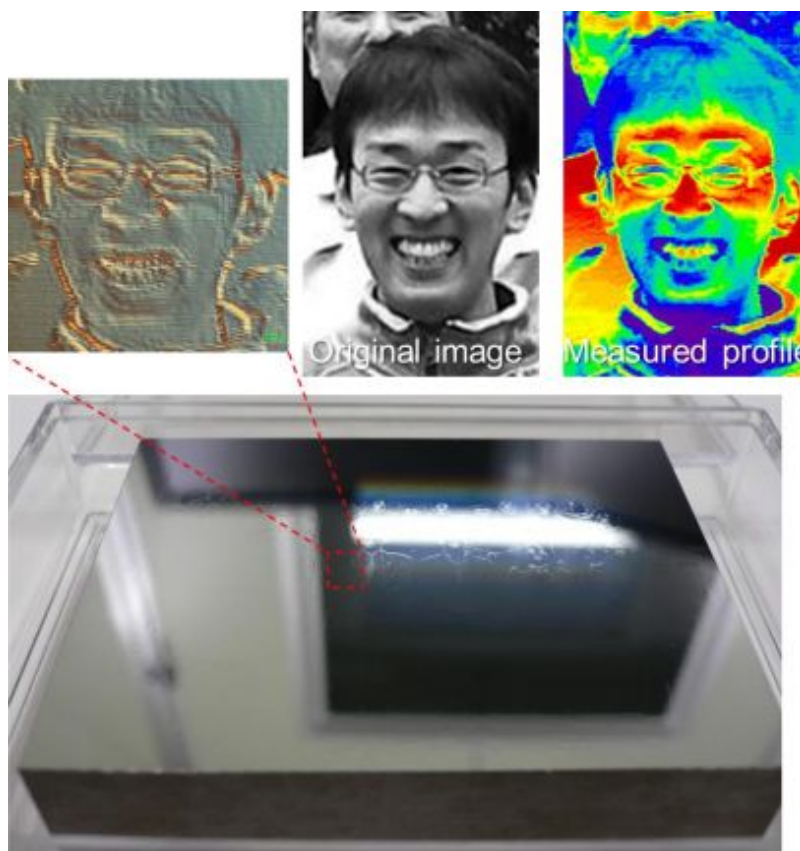


図1 学生時代の研究を発展して焼入れ鋼表面に切削加工した筆者の顔写真のナノ形状(2008年)

2000年に大学を卒業すると、今度は企業でCMPの研究をすることになりました。学生時代に勉強した切削と同じ精密加工であることには変わりがないわけですから、当初は、ベースとなる知識や学問もほとんど同じであると想像していました。しかも、研磨は母性原理が成り立たないので、上述の工作機械技術の知識が必要なくなり、かえって単純になるのではないかとさえ感じていました。初めて半導体の量産工場に足を踏み入れた時には、“なんととても簡単に大きなウエハの表面を短時間で鏡面加工するのか！！”と驚嘆しました。超精密切削ではこうはいきません。加工効率も加工面の品質も桁が違います。(図1の加工には260分を要する！)しかもCMP装置はナノ精度で動く必要がありません。それどころか、超精密切削加工機よりはるかに高価なCMP量産機はそれぞれ妙な動作音(異音)を発しながら

稼働し続けています。おそらく、どこかの剛性の低い機械要素が振動していたのだと思いますが、それらは研磨の性能には影響がありません(たぶん)。このため、ラインの管理者たちはまったく気にも留めません。超精密切削の分野ではこんなことはあり得ないので、筆者にとっては軽いカルチャーショックでした。

筆者は生産現場寄りの視点からCMPの量産技術研究に取り組みました。なぜ均一に研磨できないのか？なぜスクラッチが発生するのか？なぜ、研磨性能が劣化するのか？どうすれば効率と制御性を向上できるのか？このような疑問に対して明瞭な解答・解決手段を得るべく、関係者に協力していただきながら量産設備を無理やり借用して、思いつくままに好きなように研究をさせていただきました。ウェハキャリアを分解し、研磨パッドやドレッサを分析し、思いつくモデルや手法を考えては検証を行いました。結果的に、こうすれば良くなるといったいくつかの面白い現象を経験的につかむことができました。その一方で、それらをさらに深く分析して現象を定量的にシミュレーションできるレベルまでには到達できませんでした。研磨ではプロセスがパッシブに決定されてしまうため、スラリや研磨パッド表面アスペリティの挙動、破壊の現象を把握することがどうしてもできず、またそれらの状態量の可視化も極めて難しいを思い知りました。また、強制切込みとせん断プロセスに基づく切削機構と比較すると、研磨では材料除去機構が本質的に異なるため、切削の研究で培ってきた知見は思ったほど役には立たないようです。そもそも研磨は切削と違って学問としてはまだまだ体系化されていないと感じます。

CMP装置を前に四苦八苦しているうちに2002年に大学に異動することになり、筆者の環境もがらりと変わりました。さすがに量産設備で実験することはできなくなりましたので、これからは研磨シミュレーションと計測をやろうと考えました。最初に着目したのはスラリ流れによる流体圧力の影響です。研磨中のウェハ-研磨パッド間は潤滑状態となるので、きっと流体の運動が圧力を発生するだろうと考え、構造流体連成解析と流体計測に取り組みました。次に、研磨パッドは粘弾性体だから、粘性抵抗の影響が無視できないはずだと考え、動解析を開発しました。これを考えているうちに、“あれ？パッド表面のアスペリティって非線形な物性を持つよな？”と考え、これを考慮した非線形解析とその測定方法を考案しました。その次は、実用的な問題に取り組みたくなり、12インチウェハのキャリア構造を考慮した解析に挑戦しました。そうこうしているうちに、砥粒の挙動を考慮したマイクロプロセスのモデル化に興味を持ち…とどンドンドツポにはまっていき、あっという間に年月が過ぎてしまいました。少ないリソース(手作り感溢れる図2に示すような小規模な実験設備と共同研究者として著者を支えてくれる学生諸君)で良い研究をするには、まずは本質をとらえるのが重要であるとの信念のもと、プロセスを理解するための研磨シミュレーションと計測の研究を進めてきました。が、未だクリーンヒットが出せず、本質は結局わからないままです。どうしてあんなエッジの削れ方をするのか？どうして見た目も計測値も同じようなパッド表面であんなにレートが変わるのか？あとちょっとで何かがつかめそうにいつも感じるんだけど、本当はどこまでやれば良かった気になれるのか？研磨って本当に奥が深い…

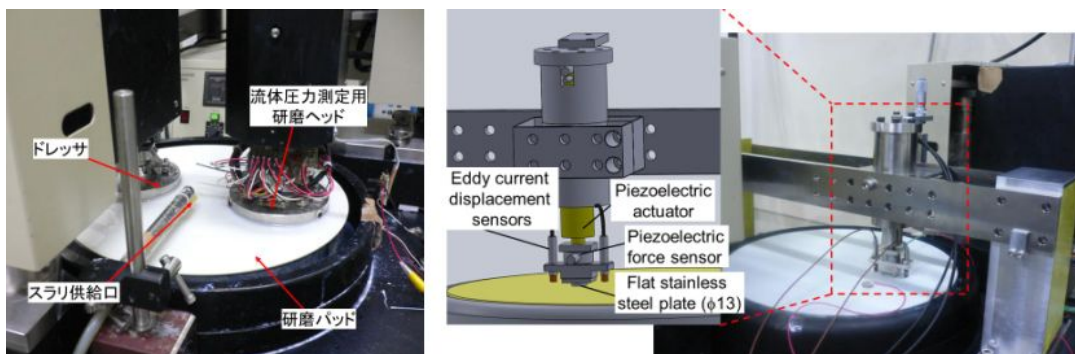


図2 これまでに開発してきた装置
(左: 流体圧力測定ヘッド, 右: 研磨パッドの非線形粘弾性測定装置)