

技術懇親会：講演録

『マイクロ・ナノメカニカル
ファブリケーションの最先端研究と実用化』

講師：大森 整 氏

理化学研究所 中央研究所 大森素形材工学研究室 主任研究員



財団法人 リそな中小企業振興財団

The Resona Foundation
For Small And Medium Enterprise Promotion

【技術懇親会】

開催日 平成17年3月3日(木)
会場 独立行政法人 理化学研究所
主催 (財)りそな中小企業振興財団
(財)埼玉りそな産業協力財団

講師ご紹介



大森 整（おおもり ひとし）氏

1991年3月 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻博士課程修了。工学博士
1991年4月 理化学研究所入所。素材工学研究室研究員
2001年4月 同主任研究員
2002年4月 埼玉大学大学院理工学研究科客員教授併任
2004年4月 独立行政法人理化学研究所中央研究所大森素形材工学研究室主任研究員
現在に至る。

研究所プロフィール <http://www.riken.jp/r-world/research/lab/wako/materials/index.html>

素材に機能と形状を付与することは、"物づくり"の基本である。工業材料の主役である金属材料やプラスチック材料はもとより、電子材料、光学材料、セラミックス、複合材料などの分野で、加工困難な新素材が次々と登場し、また先進の高機能デバイスの開発においては、加工精度の超精密化、サイズの超微細化、形状の多自由度化、加工表面の高機能化等に対する要求が高まり、素形材工学の重要性は増大の一途をたどっている。

当研究室では、素形材工学にブレークスルーをもたらす革新的な新加工技術の研究開発を行うとともに、その応用研究と実用システムの開発を進めている。当研究室で開発した ELID(電解インプロセスドレッシング)研削法は、ELID 研究会や理研ベンチャーを通じて広く普及してきており、新しい生産分野で多くの成果を挙げている。また、ナノプレジジョン加工システムおよび機上計測システムの研究開発、表面改質加工法およびナノレベルの超平滑加工法の研究開発を通して、微細表面構造および表面機能を創成するマイクロメカニカルファブリケーションの研究領域へと展開を進め、次世代の微細光学素子や電子デバイス、マイクロマシン開発など、基礎科学研究から産業界への応用までブレークスルーをもたらしつつある。

研究テーマ

- (1) マイクロ構造/機能素子のためのナノメカニカルファブリケーション研究
- (2) マイクロファブリケーションの応用研究
- (3) マイクロからナノ領域におけるフォーミング/トライボロジー研究
- (4) 材料成形加工のための計算力学研究

連絡先：〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2番1号

理化学研究所・中央研究所

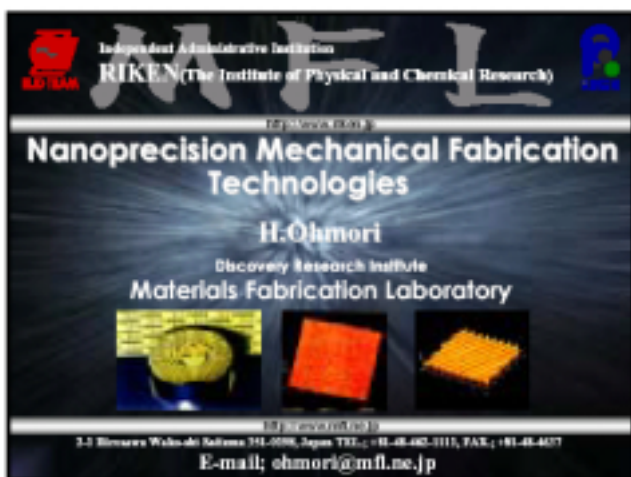
大森素形材工学研究室 TEL 048-467-9320 FAX 048-462-4657

「マイクロ・ナノメカニカルファブリケーションの 最先端研究と実用化」

理化学研究所 大森素形材工学研究室の大森でございます。今日は、ようこそお越しいただきました。

ただいまから、最先端の微細加工、微細かつ超精密ということで、そのあたりのお話をさせていただきますと思います。その後見学会では、私どもの研究現場をご覧いただいて、いろいろなマシーンがありますので、皆様のお仕事に何かお役に立ちそうなものがありましたら是非ご参考にしていただいて、詳しく見ていただければと思います。それでは早速、お話のほうを始めさせていただきますと思います。

下の図にタイトルがありますように、「ナノプレシジョン」という言葉が最近登場して参りまして、これは私が全く最初に造ったというか言い始めた言葉ではないのですが、ナノプレシジョン、つまり、ナノ精度、ナノ精密という意味合いがあります。



最近意識してこの言葉を使うようにしてきております。それから、「メカニカルファブリケーション」のメカニカルは機械的なという意味であります。機械加工の極限というか究極のところを、私どもは追い求めております。実際にいろいろな加工技術、あるいはマシンの開発、システムの開発、そういったものを通して実用化、普及を図っております。

機械加工と言いますと、ものづくりの基本であります。いわゆる半導体とか電子デバイスといった分野での作り方と、機械加工とは全く別の作り方をしますが、近年、やはり半導体プロセスが微細

加工の主流になってきたという認識もあると思います。そういうシチュエーションもありまして、機械加工の極限を究めるといことで、是非、機械加工がこんなに進化したのだということをご理解いただければと思っています。

同じ図の下方に3つの写真がありますが、これは、私が現在進めております研究を定型的に表した写真です。左は非球面のレンズの金型ですが、こういう複雑な形状を持ったものを非常に滑らかに、しかも超精密に作るということです。いわゆる、表面加工と超精密加工というものです。真ん中のものは原子間力顕微鏡といいまして、表面の粗さを測定する、現在ではかなり進化した測定装置で撮った表面の粗さのデータですが、これを見て、やや抽象的過ぎてちょっと分かりづらいかと思うのですが、非常にフラットに平坦にできています。これは、機械加工で大体2ナノ以下の粗さが出るという事例です。つまり、機械加工なのですが、機械加工という従来のイメージですと粗い加工、粗々しい加工というイメージだったのですが、ナノレベルの加工までできています。非常に平坦・平滑な加工までできます。

一番右のは、微細な構造です。これは溝を微細に加工された事例でございます。最近私どもは、こういう微細な構造を持つ加工にかなり力を入れてきておりまして、こういうマイクロファブリケーションといいますが、マイクロ構造の加工が重要です。これらは、こういったものを総合的にやっていこうといった、典型的な写真でございます。

まず、私が発明しましたコアテクノロジーと言いますか、キーテクノロジーの1つであります「エリッド」という技術のご紹介をしたいと思います。エリッドというのは「ELID」と書きまして、これは英語ですけれども、これは学会でもいろいろ皆様、ELIDという言葉で使っていただくようになってきて定着しております。配付された資料の中にピンク色の冊子がございます。これはややゴロ合わせを含んでおりますけれども、「ELID研削とは何だ」と意外といろいろな分野の方から聞かれるものですから、「エリとケンサク」というキャラクターを設定しまして、そのキャラクターが詳しく説

明する、分かり易く説明するという冊子です。ご参考にしていただければと思います。

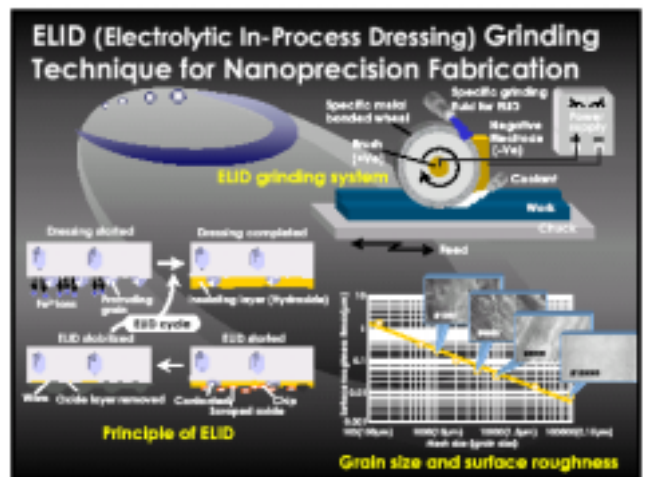


まず、ELIDの基本原理についてご説明したいと思います。研削、切削、研磨といういろいろな言葉が今日登場いたしますが、皆、材料加工技術、材料を除去して加工する技術であることは同じなのですが、研削というのは砥石で加工する技術で、工業的には回転する円盤状の砥石を使って材料を削り取るという加工方法でございます。1987年ごろ、私がまだ大学院生のときに、砥石を使って非常に精密な研削ができないかというテーマを与えられて研究をスタートしたのですが、金属でダイヤモンドを焼結した砥石をメタルボンド砥石と言いますが、このような強固な砥石を使って実験していたのですが、なかなかうまく削れませんでした。

それはなぜかということで、それを知るために3,000回も4,000回も加工実験をしたのですが、なぜ切れないかということを知るのにそれだけ実験したことで1年以上かかってしまったのですが、結果として、砥石というのはダイヤモンドの粒を、結合剤を用いて（これはメタルボンド砥石ですので金属で焼き固め）保持しているのですが、この砥石

の表面にダイヤモンドが突き出していないと当然削れない訳です。ダイヤモンド砥粒と言いまして、いわばダイヤモンドの切れ刃が、実際、砥石表面からわずかに突き出した状態で材料を削り取ります。それが埋まってしまっていてなかなか金属の表面に突き出すことができないと削れないということを見つけるのに1年以上かかったということです。

そこでどうすればいいのかということで、これはもう、ある意味で実験と直感でというような発見・発明の仕方だったのですが、これは金属の結合剤を持った砥石ですから、導電性があるだろうということで、砥石に電気をかけてみるとどうなるのだろう、というような着想に至りまして、砥石にプラスの電圧をかけて、砥石の、どこでも良いのですが空いているところにマイナスの電極を設け、その砥石と電極間に電圧をかけました。そうしますと電気分解という現象が起こり、砥石の結合剤のメタルボンド、金属の部分だけが電解で溶け出し、ダイヤモンドは電解で溶けませんので砥石表面に残ります。そうしますと、ダイヤモンド砥粒の周りの金属の部分のみが電解して取れますので、当然、相対的にダイヤモンド砥粒が砥石表面に露出してくる訳です。

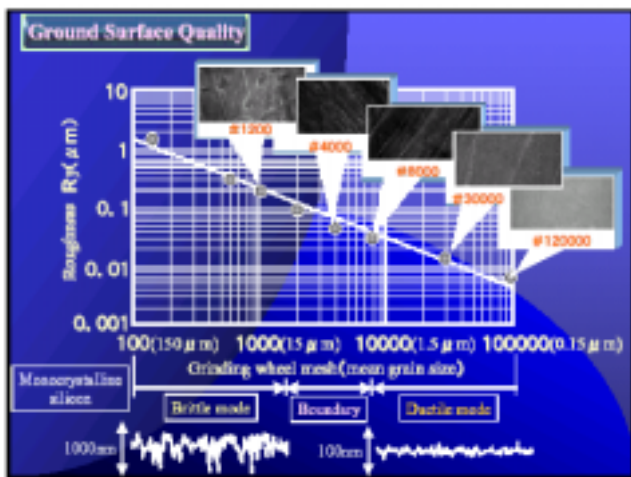


そういうことで、結局、ダイヤモンド砥粒、つまり切れ刃が砥石の表面に突出してくる状態を人為的に作り出すことに成功した訳です。非常にシンプルで、砥石に電圧をかけてやれば非常に良く切れる砥石になり、しかも、砥石に入れるダイヤモンドのサイズも0.1ミクロンとか、それ以下の非常に細かい砥粒でも使えます。電解の量を加減してやればダイ

ヤモンド砥粒サイズに応じて、砥石表面に突き出すことができますので、砥粒のサイズを選ぶことなく、いわゆる砥石の目立てができるようになったということです。この発見によって、砥石でピカピカに鏡面加工ができるようになりました。

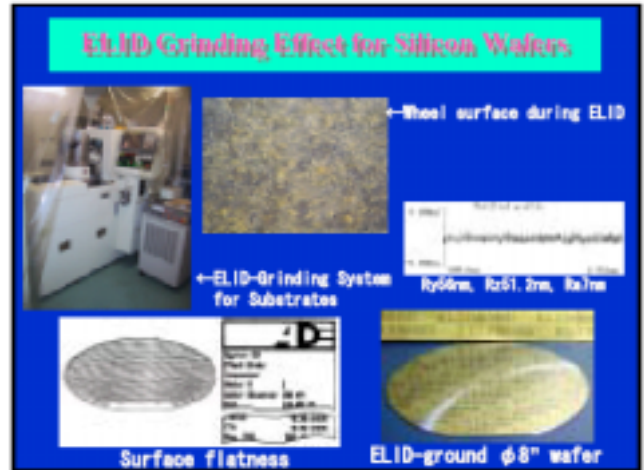
やや専門的過ぎて申し訳ないのですが、横軸に砥石の中に入れるダイヤモンドのサイズ、つまり砥粒の平均的な大きさを取り、縦軸にその砥石による加工面の最大粗さを取りますと、例えば、さっき 0.1 ミクロンぐらいと言いましたが、それにより 10 ナノ以下の粗さが砥石による研削加工だけで作り出すことができることに至った訳です。

図にありますように、10 ナノ以下の粗さが作り出せることがお分かりになると思います。これは、非常に細かいダイヤモンド砥粒を使えば使うほど加工面が滑らかになるということです。今まで、この技術が発明される以前は、例えば 4 ~ 5 ミクロン程度の粒度を持つダイヤモンド砥石でさえ使えないというのが一般的だったのですが、最近では 5 ナノぐらいのダイヤモンド砥粒を使って砥石を作り、それで加工できるようになったことで、ナノサイズのダイヤモンドでも切れ刃としてきちんと機能することを確かめることができました。それをういませと 2 ナノ以下の粗さが出るということでございます。これについては後ほどお話いたします。



当初は、何に使えるかということはさておき、こうした研究を始めたのですが、いろいろな企業の方が当研究室に来られまして、いろいろとディスカッションをする機会をいただきました。企業の方も無

意味に来る訳ではありませんので、「何に使えるかな。うちのあれに使えるかな」という若干の期待をもって来られるのが大半だと思うのですが、その中で、「半導体、シリコンウェハの加工に使いたい」と言われた会社があり、いち早く導入されてもう 10 年以上シリコンウェハの加工に使われております。



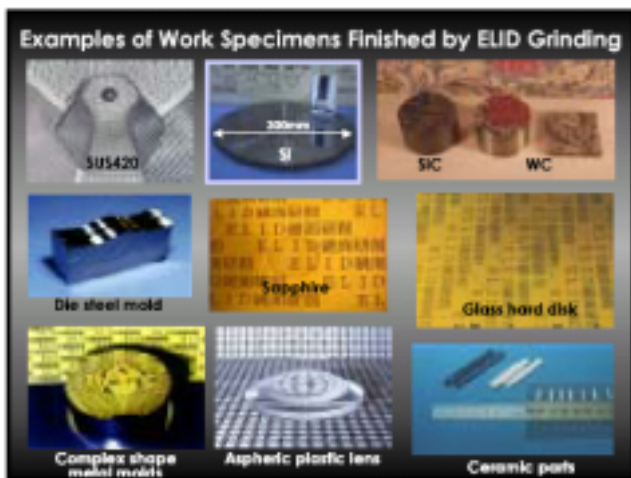
専用の E L I D 研削装置が完成いたしましたので、これが生産ラインに入ることによって、シリコンウェハを砥石で削るだけで、生産レベルで鏡面加工することができるようになりました。その結果、非常に表面の平坦が良い、粗さも良いということでご評価いただきましたが、砥石だけでこういう鏡面の加工ができるというのは、この発明以前にはなかった訳です。

先ほど、砥石の表面を電解して目立てをする、つまりダイヤモンド砥粒を表面に突き出していくという簡単な言葉で説明しましたが、実は、起きていることは非常に複雑です。これは鉄分を含む金属を使って、ダイヤモンド砥粒を焼き固めた砥石を用いることに起因いたしますが、鉄分というのは電解しますとすぐ水と反応して、いわゆる錆のような状態になり、いずれ砥石表面は酸化鉄で覆われて茶色っぽくなります。茶色っぽい褐色を帯びたような色を呈し、表面の導電性が失われます。つまり、電解がスタートしますと、丁度良い感じでダイヤモンド砥粒が突き出してきて、それから溶け出した鉄のイオンが不導体被膜を形成して、砥石表面に酸化物として蓄積されます。そうしますと電流が流れなくなり、それ以上、電解で砥石結合剤が溶け過ぎないような状態となり、砥石表面を保護してくれるという、

格好の状態になるということが分かりました。

世の中で一般的なメタルボンド砥石を用いますと電解をしても不導体被膜ができ難いので、ずっと溶け続けてしまう訳です。そうしますと、先程 0.1 ミクロンとか数ミクロンなどの砥粒と言いましたが、こうしたダイヤモンド砥粒はすぐに脱落してしまう訳です。ダイヤモンドを保持している金属成分がどんどん連続的に溶けてしまうと、あっという間にポロツ、ポロツと落ちてしまいます。ですから、不導体被膜を作り易い鉄系の砥石でないと E L I D の発明はできなかつたということになり、これを発見・発明してから 5 ~ 6 年かけてその機構の解明を研究してきたのですが、その後では、最初の良い組み合わせ以上のものはできなかつたのです。ですから、これは偶然の産物という言い方しかないので、何か最近、「偶然できた」ということをずっと言うと、いろいろな賞がもらえないとかいう話があって、「もともと計画してあったのだ」と言うようにしているのですが、まあ、それは冗談ですが...

結果として、非常に微細なダイヤモンド砥粒を含む砥石が良く切れるようになって、しかも鏡面加工ができる。ダイヤモンドの粒が細かくなりますと、それで削り取る量というのは微細になり、結局は加工面がどんどん鏡面状態になってくる訳です。最初にやったシリコンウェハについては、最近、300 ミリ、つまり 30 センチのウェハなども加工されておりまして、その専用加工機も登場しております。

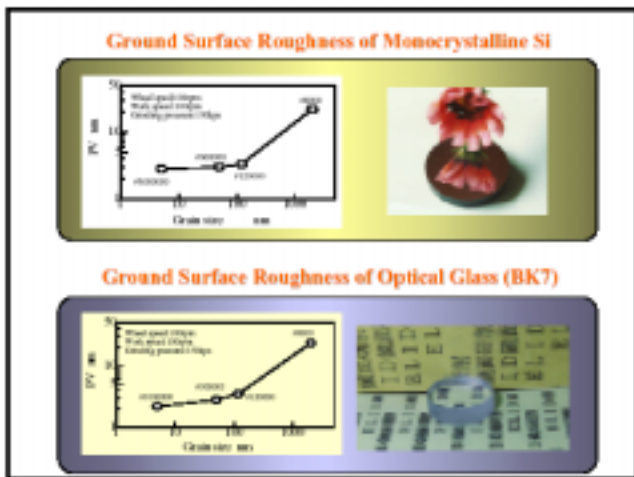


その他、サファイアとかガラスハードディスク基板、水晶基板などの鏡面加工事例があります。あとはシ

リコンカーバイト、つまり炭化ケイ素というセラミックスがあり、非常に硬いですが鏡面加工ができます。他にも、超硬合金などに対しても、E L I D は非常に適した加工技術になっております。やはり難加工材料、つまり加工が非常に難しいとか、脆性材料と言いまして、無理に加工してしまうと割れてしまつとか欠けてしまつ、そういった脆い素材が非常に画期的にきれいに加工できます。

それから、スチールやステンレスとか、金型材料とか、いろいろな精密機械部品の仕上げ加工にも使えるということで、決して脆い材料や硬い材料ばかりではないのですが、できれば、やはり硬めの材料の方が、E L I D が非常によく効き、十分実用効果を発揮します。ちょっと抜かしてしまいましたが、光ファイバーのコネクターとか、自動車部品などは、金属製からセラミックス製部品に置き代わっていますが、材料を急に金属からセラミックスに置き代えたら生産性が下がってしまったというような場合には、E L I D が非常に適した候補になるかと思えます。あとは平坦面以外にも、N C 工作機械と言いまして、数値制御で精密に砥石の位置を制御して加工するマシーンでいろいろなプロファイルが作れますので、冒頭に言いました非球面のような複雑な形状の加工などもできます。

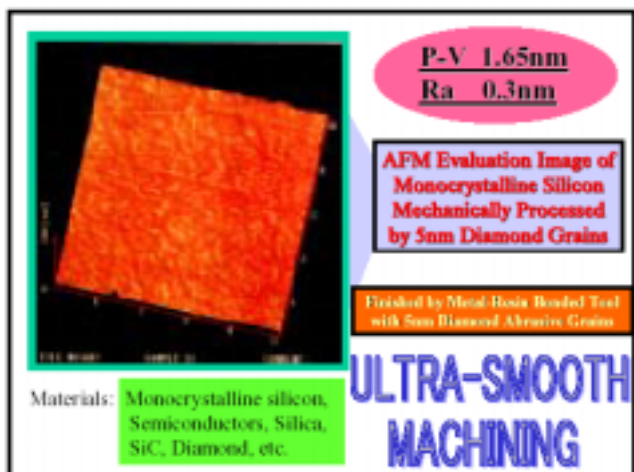
E L I D 研削で、どこまで粗さが良くなるのかということも、ずっとその後、ある種のライフワーク的に研究を続けてきております。これは砥粒のサイズをシャープという記号で何番と言うのですが、8000 番とか 12 万番とか 30 万番、300 万番、この数字が大きくなればなるほど、中に入っている砥粒、ダイヤモンドのサイズが小さくなります。先ほど 300 万番と言いましたが、これは、平均砥粒径が 5 ナノから 6 ナノ程度の非常に小さい、いわゆるナノサイズのダイヤモンド砥粒でございます。これを使って加工しますとどんどん粗さが良くなってきます。つまり、砥石に入れるダイヤモンドが小さくなればなるほど鏡面が良くなるということで、このあたりだと 3 ナノ以下の加工面粗さが得られます。



上はシリコンで、下はガラスです。ガラスですと2ナノ強ぐらいの粗さができます。中に入れるダイヤモンドの砥粒のサイズを小さくすればするほど、鏡面が出るということでございます。

普通は決してそうはならなくて、要するに、ダイヤモンドが小さくなると砥石の表面に突き出すことができなくなりますので、幾ら小さくてもダイヤモンドを砥石の表面に出すことができさえすれば、ほかの先生、あるいは研究者もできたのだと思うのですが、そのダイヤモンドが小さくなりますと、それを突き出す手段がこれまでなかったということで、今までできなかったということになります。

これが、冒頭に申し上げました5ナノサイズのダイヤモンドを砥石に入れて得られた加工面です。これは機械加工で、最大粗さで1.65ナノメートルという粗さですので、いわゆる原子レベルに近づいてきているということが言えます。こういう機械加工でこうした領域まで達したということは、非常に奥が深いというか、意味深いことだと思います。



今、この手法そのものはいろいろな材料に展開されていて、シリコンウェハとか、いろいろな半導体材料、石英、セラミックス、あと、ダイヤモンドの薄膜を加工するとか、硬いものに向いておりますので、硬い材料に対して非常に平滑な加工をするには良いだろうということで採用されてきております。一部では、レーザー素子とか、最近ではLEDとか、先進デバイス基板になる材料の加工に採用されるユーザーもいらっしゃいます。

先ほどお話ししたのは大体フラットな面だったと思いますが、いろいろとELIDをやってみると、だんだんフラットな面ではちょっと飽き足らなくなり、いろいろな形状を作りたいということもありますし、もう一つは、ELIDで粗さが良くなっても、プロファイル、つまり形の精度というのはまた別次元の精度が必要になってきます。例えば、レンズなどの表面はもちろんピカピカにしないと光を通りませんのでレンズになりませんが、形についても、機能に応じてきちんと設計されたものがある訳です。設計された形状通りに作れないと、やはりレンズとしては不十分な性能になってしまうということで、粗さだけではなくて形もできるだけ、ウルトラプレジジョンとかナノプレジジョン、冒頭に言いましたナノ精度とか超精密といった加工精度で制御したいと思うようになりました。

それはどうやるかといいますと、やはり砥石を制御するマシンが、ある程度ナノレベルに近い精度を持たないといけません。砥石の位置をナノレベルの精度で制御して、それを加工面に転写していくという作業が必要となります。つまり、刀が切れましても、それを振るう腕も良くないといけない、といった例えと非常に類似しておりまして、工作機械の超精密化を図っていかないと、なかなか到達が難しいということです。1996~97年頃から、やはりELIDマシンのレベルアップという課題に取り組みまして、多くの工作機械メーカーと連携して新しいマシンを開発して参りました。

ほとんどが実用化されていますが、ナノレベルの精度で位置決めができ、ELIDが使える超精密加工機ができました。いろいろな機械がありますが、

それぞれのメカも要素技術に差異がございまして、ローラーが転がってスライドするというものから非接触になってきまして、テーブルの隙間を油で満たして、摩擦を低減させて非常にスムーズに動く機械や、空気で駆動部をサポートしながら動かして、ほとんど摩擦がないという、超精密、ナノ精度、ナノ精密加工機が開発されてきております。

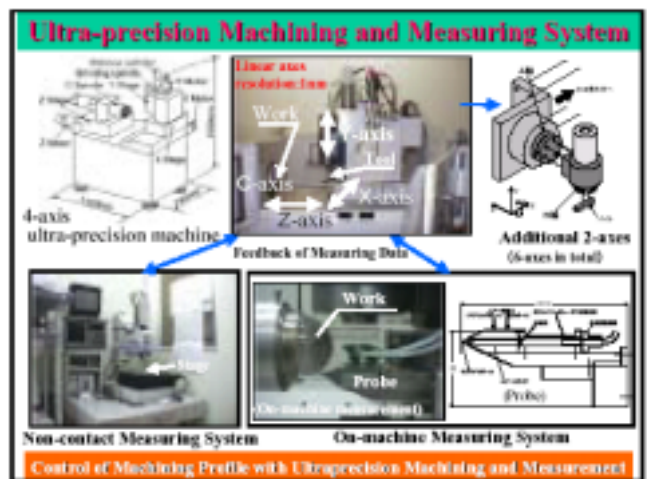
それから、近年、意外と大型の工作物も登場してきています。最近、ノートPCのバックライトの金型やフラットパネルディスプレイなど、いろいろ大画面で超精密な機能部品、光部品といったものが登場してきています。超精密加工と言いますとサイズも小さくなってしまいうようなイメージがありますが、意外とそうではなくて、大きくてもナノ精度といったところも私どもの研究の目的にございます。例えば、マイクロ加工と言ってしまうとマイクロサイズの加工だという意味になってしまうのですが、ナノ精度加工と言いますと、精度がナノレベルの意味で、サイズがナノではないのです。

ですから、1メートルの天体望遠鏡のミラーであっても小さい部品であっても、精度はナノで統一的な考え方になるということで、冒頭に、「ナノ精度」と最近言っているということは、サイズを問わないナノ精度というものを目指していこう、こうあるべきではないかという考えから、意識して言い始めた訳です。そんな経緯で、結構大型で1メートルぐらまでの、あるいは1メートルを超えるぐらいの非球面形状が作れる機械も開発して参りました。まだ目標レベルまでは到達できませんが、少しずつナノレベルに近づいてきた、大型の超精密加工装置なども登場してきているということです。

これらは、まずサイエンスの研究から私どもはスタートいたしまして、それをいかに工業生産に結びつけるかに着目するという、ある意味では独自の研究のやり方と言いますか、そう心がけて進めております。チャンピオンデータを作るだけですとサイエンスで終わってしまい、やはり繰り返してできるようになりますと、ユーザーが使って何回やってもきちんとこういう精度が出る、あるいは、こういう鏡面が出るという、リピータブルな技術にして行かない

と結局使っていただけないのです。そのあたりはやはりサイエンスも当然、テクノロジーを牽引するという意味で必要なのですが、やはり繰り返し性のある、量産化できる、実用的な技術にトランスファーして行くように心掛けて進めています。

昨日、別のシンポジウムでデンソーの石丸特別顧問のお話を聞かせていただいたのですが、「基礎研究と実用研究は同時にやるべきだ」という見解を言われていて、まさに私のやり方そのものでありまして、何が基礎研究で何が実用とか仕分けしてやっております。ですから、お互いインタラクティブにやるということは、逆に、基礎も進みますし実用も早くなります。ただし、やはり基本技術は大切にしながら、実際的なナノプレジジョン加工を目指していこう、という方向性になってきております。



まず、最初に開発したマシンは、4自由度ある非球面加工機です。これは、1ナノのステップで制御できる優れたマシンとなりましたが、実際加工してみましても、使い勝手も良いものが開発できました。ELIDは非常に砥石の切れ味もよくて加工面も非常に滑らかになります。こういう超精密の機械ですから、当然、加工されたものも機械が動いた通りできるだろうと思っていたのですが、実際、加工されたものには誤差があり、それが何なのかということも、いろいろ基礎研究として見てきました。

つまり、材料を削り取るときに力がないと削れない訳です。材料があるエネルギーで作られている訳ですから、そのエネルギーを超えないと削り取れない訳です。ですから、ある程度の力が必要です。力

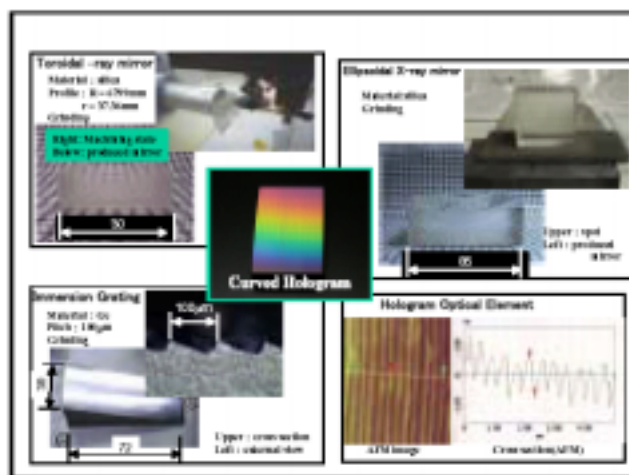
が必要だということは、逃げが発生する訳です。そうしますと、機械の剛性というのは無限に強い訳ではなく、当然ある有限の値でできていますので、例えば1ミクロン動きなさいと指令して、もし材料がかなり硬い場合には力をうんとかけないと削れない訳ですから、当然、機械は1ミクロン動かないのです。どうしても、1ミクロン削ろうとして動かそうとしても機械が変形して撓んでしまいます。その誤差はゼロではない訳です。そういったことが蓄積されますと、やはり加工形状として無視し得ないような誤差が生じるため、それを測定して自動的に修正できないかという研究に至った訳です。

そこで、同じ加工機上で形状を計る特殊なプローブを開発しました。加工された非球面の近くにこのプローブをつけて、工具との位置をうまくずらして、その場で計ってしまうものです。これはオンマシーン計測とか加工機上計測と呼んでいますが、この概念は今どんどん進化していきまして、加工と計測は融合しないと良いものがない、加工がどこまでできたかとか、どこまで精度が上げられるかというのは計測ができて初めて言えることなのです。ですから、計測できないものは加工できないということが言えまして、これはいろいろ調べてみますと古くからそういう諺があります。レンズ研磨職人の言葉なども調べてみますと、「どんなレンズでも作ってやる。計れば」という話もあって、やはり、これも実際に身をもってそういう課題に突き当たった方が言われたことだと想像致します。

やはり、計ってそれを修正しないと、一発で機械の動きを信じて、どうしても加工の力が必要になればわずかに逃げる。逃げてしまうと誤差が生じる。ただ、その逃げ方というのが、ELIDを使っていれば砥石の切れ味は変わりませんので、どういうふうに誤差が出るかというのは一定しているのです。だから修正できるのです。もし砥石の切れ味が変わってしまうと、1回加工して誤差が出て、それを計ってもう1回加工しても、また違う誤差になってしまったりして、この場合は、いくらやっても誤差は永久に修正できないこととなります。しかし、ELIDを使ったお陰でそういったことはなかったと

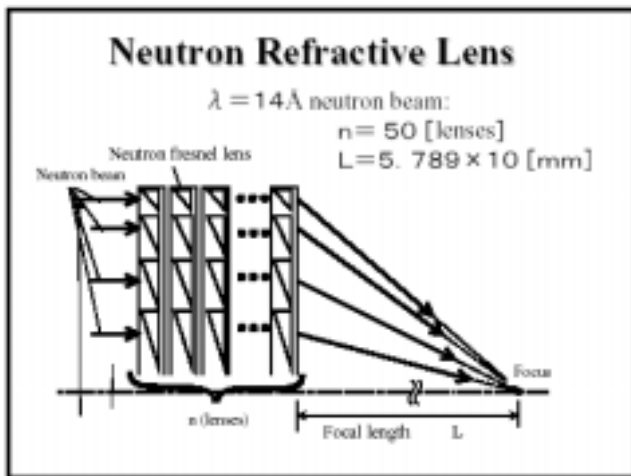
いうことです。前の加工の誤差は、次回、NCプログラムを修正すれば砥石の切れ味が変わらないから修正できるという、非常に好適と言いますか、ある意味、幸運に恵まれたと思います。今、私のベンチャー会社ではこういう機上計測システムの販売などもしております、工作機械に、いわば「目」がついたということが言えるかと思えます。

こうした超精密加工技術を、こういった部品や用途を対象にしたかと言いますと、やはり多くは光部品でして、非球面の形状、ミラーとか、微細な溝加工などです。後ほどまた詳しく出てきますが、光ディスクのピックアップレンズには最近では必ず溝があり、こういう微細な溝加工ができないかとか、曲面上に微細な溝を彫った事例などもあります。これはちょっと大きいのですが、ゲルマニウムという半導体材料に溝を加工した事例です。光部品の微細化、超精密化というのは非常にどんどん進歩している状況で、難易度の高いものを対象にしたら良いのではということを考えてやってきました。

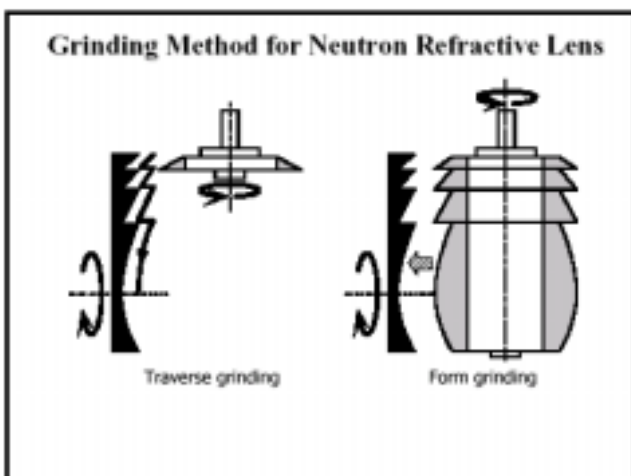


ややサイエンスの世界になりますが、中性子ビームをうまく制御できれば、生物とか生体の診断や診療に使えるのでは、という研究をしている先生がいらっしゃるしまして、実際、中性子ビームというのはなかなか曲がらない性質があり材料を素通りいたしますので、どうやって生体や患部に絞って診断や治療をするのかを考え、中性子ビームを屈折できるようなレンズができないかと種々検討された結果、プリズムのような非常に素晴らしい発案をされました。これを並べ、沢山積層しますと、中性子ビー

ムが次第に曲がって行き、ある1点、つまり焦点に集中し絞れます。実際には、断面形状がギザギザを持った特殊なフレネルレンズとして、中性子レンズが設計され、開発を目指すことになりました。



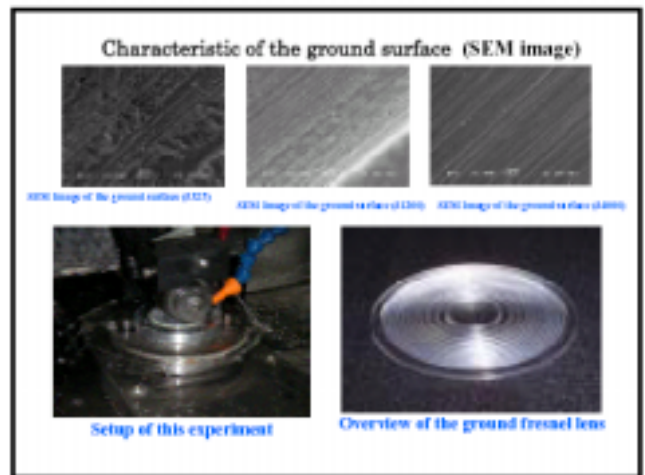
そういった経緯で、中性子レンズが作れるかという話になりましたが、ある意味で理化学研究所の良いところは、分野間の垣根があまりなくて、工学者であろうが物理学者であろうが生物学者であろうが、よくどこかで会っているししゃべっているうちに「やろう」という話になりまして、今回も「じゃあ、それを作ってみよう」という話になりました。最初は、エッジが尖った砥石をトレースして、一つの溝を加工してレンズを作ろうかと思ったのですが、これだと普通のやり方で、研究テーマにならないのです。もう、当たり前ですから。



そこで私は、もっと生産性を上げなければ大変な作業になるということもありますし、どうせなら、ちょっと新規性を考えて、砥石の断面形状に予め必要

なギザギザを多数作っておきまして、それを転写するという新工法を発明致しました。研削の世界ですと総形研削とか成形研削とか言うのですが、こうした特殊な砥石断面をまず放電で形成しまして、それを精密に転写するという工法がパテントになりました。今それをベンチャーのほうで事業化しようとして、いろいろと検討しているところです。

後ほどまた出て参りますが、非常に小型の卓上型の加工装置もベンチャーのほうで実用化、普及しており、そうした加工装置で中性子レンズを作りました。これは1セット 60枚くらいあるので、全て研究者がやっていると大変なものですから、いずれベンチャーのほうで実用化を進めようとしています。

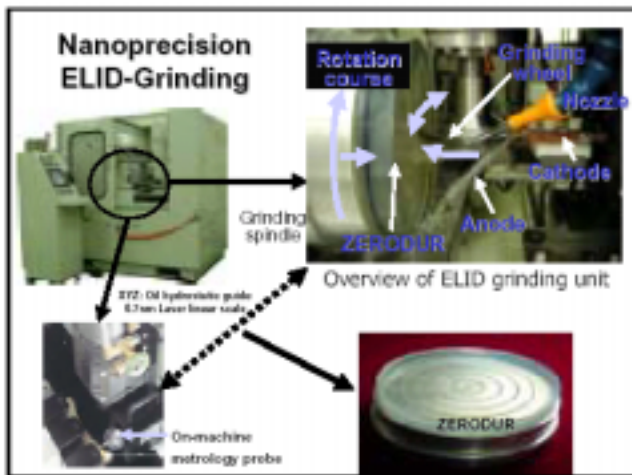


物理の先生方は、私が作ったレンズを使って新しい研究をする訳ですが、私もレンズを作るための新たな工法の創出が研究になる訳です。ですから、そういったインタラクションは非常に面白くて、両者とも論文が書けますし、実用になって、うまくいけば利益が出るという話になる訳です。

さて、少し触れましたが、ナノ精度、ナノプレジジョンの機械要素技術についても、現在、吟味し始めております。先程のテーブルのスライドですが、実際、摩擦がある限り摩擦はなかなか一定になりませんので、「スティック - スリッパ」という、引っ掛かったり動いたりというようなことで不連続になってしまいます。そうするとナノ精度ではなかなか動かないので、これを非接触にしてテーブルが動くようにできないかとなりました。また、ネジをモーターで回転しますと回転運動が直進運動に変わ

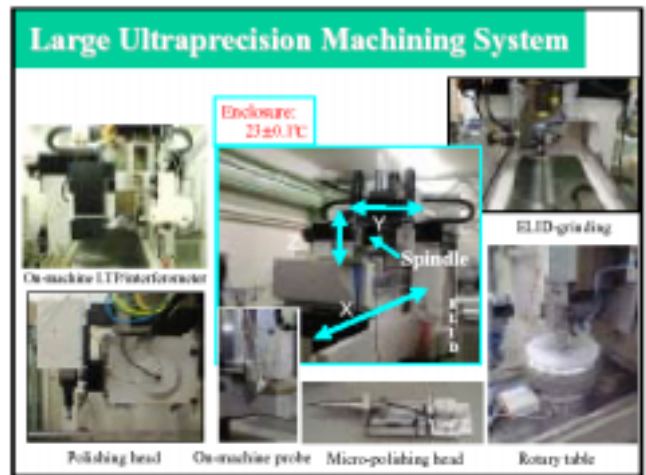
りテーブルが直動する訳ですが、既にある企業がやっていた技術ですが、オスネジとメスネジの間にも油が満たされた非接触ネジを使って駆動しますと、さらに非常にスムーズな運動ができます。そういった要素技術の検討により、ナノステップできちんと位置制御できるようになってきました。

こういったものをふんだんに取り入れて我々の研究開発に使っていかうと考えて E L I D 用のマシーンを開発しまして、結構大きい非球面形状の実用的な超精密加工もできるようになりました。E L I D 専用の砥石も、専用の電極も搭載されています。例えば、放物面のミラーなど先端的な光学部品の 1 つですが、120 ミリ、つまり 12 センチという、業界では結構大きい部類に入るものができています。本機により加工しても、やはりどうしても逃げが生じ加工形状が誤差を持つため、同一機上で計測するユニットも搭載しています。大体 1 ~ 2 度計測して、誤差を補正するプログラムを生成して再加工すれば、プロファイル、つまり形の精度を、100 ナノ以下の相当なレベルに入った実績があります。100 ナノ以下、つまり 0.1 ミクロン以下ですから、こういった誤差範囲に再現良く入れるというのは、従来なかなかできなかった作業です。しかも、砥石が E L I D でよく切れしますので表面も鏡面状態になっています。粗さと形状の両立ができることになります。



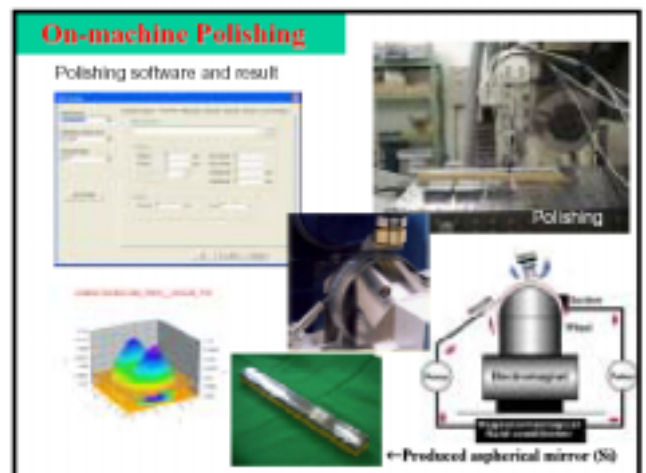
本日ご覧いただきますが、結構大きな非球面加工装置で、1メートルぐらいの長さの鏡の加工ができる E L I D 加工機も開発されています。大型なのですが、ナノ精度に近づけたいという需要がかなり出て

きたということで、世の中に先駆けて構築して行こうということで鋭意開発した機械です。



10 ナノのステップで動かせる機械であり、実にテーブルが 1.4 メートルも動くのですが、1.4 メートルの動きが 10 ナノずつ動かせるという優れものです。この加工機には、円盤上の部品加工の場合には回転できるテーブルもあり、関係するプロジェクトの中には大型の宇宙観測用のレンズやミラーなどの大型光学部品の加工事例もあります。こういったものを含め、いろいろな事例、大きくて超精密というものが結構事例としても出てきております。

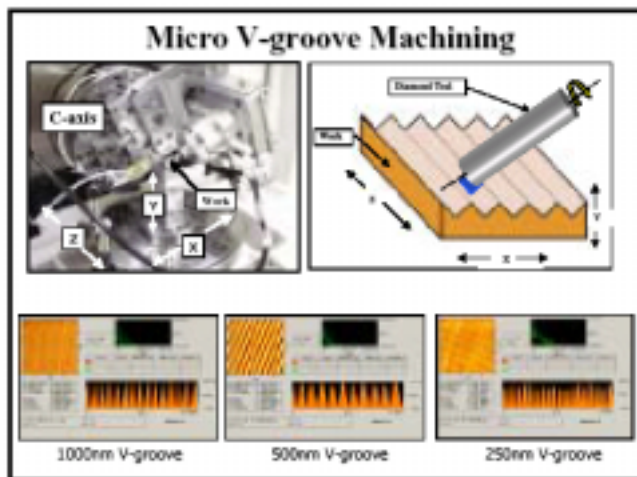
実力としては、E L I D でナノレベルの粗さまで行くのですが、作業時間や難易度などから、E L I D の工程をできるだけ少なくするため、E L I D で途中までやった後は最終仕上げを別のプロセスでやり、それぞれ相乗効果でトータルとしては時間を短くしようと考えています。最近では E L I D の後に、別のプロセスでほんのわずかだけ磨いて、効果を上げることができるようになってきました。



本日ご覧いただきますが、非常に面白く興味深い技術なのですが、流体、液体を利用した研磨技術があります。その液体は、磁石に反応する磁性流体という液体を用いまして、要は、鉄粉と砥粒が流体の中にいわば分散したようなものです。この磁性流体が、回転するマグネット、つまり磁石の表面に張り付いて、ある一定の膜圧で回転する訳です。その回転するマグネットに張り付いた流体の膜で磨くという非常に面白い技術で、主に光学部品を磨きます。部品のどの部分をどれだけ磨くかというプログラムを、形状を測定しながら作り、部分的に修正を進めることができます。これですと10分ぐらいで60ナノ以下の誤差にするとか、チャンピオンデータですとその半分ぐらい、30ナノぐらいの誤差に入れるとか、ちょっと、最初は我々も信じられなかったような精度が、こういう流体で磨くということでき始めております。これも、ELIDと組み合わせるともっと良いということで、それをシステム化して実用化、普及させようと考えております。

ELIDではないのですが、ダイヤモンドの非常に小さいバイトで切削するようなマシンがあります。スライドも回転軸も空気でサポートされているのでほとんど摩擦がないというマシンで、これを用いて我々は新しい加工技術を研究しています。

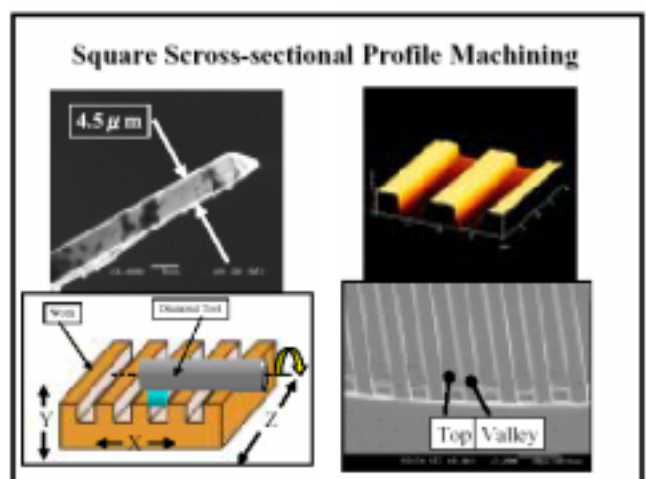
いろいろな微細な構造と言いますか形状の加工をやってやろうということで、溝加工の事例があります。後ほど、いろいろと細かいサンプルがございますが、V断面の溝や矩形状や丸い曲面を持った断面とか、いろいろな加工をしております。



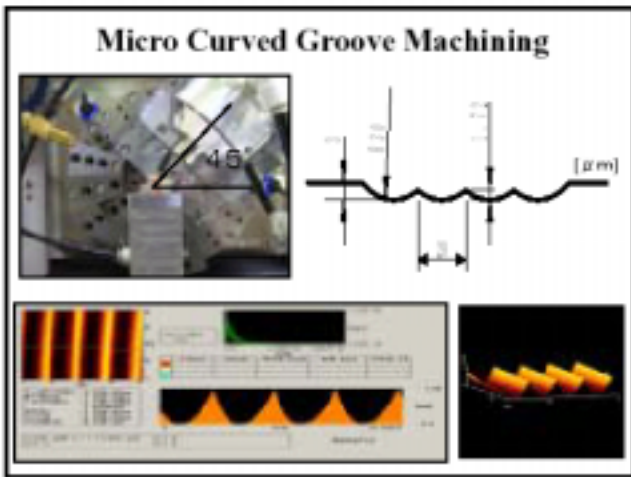
小さいものでは、Vの山と山のピッチが250ナノということですから、0.25ミクロンのピッチのV溝を加工することができます。先端がV形状の三角形の、ダイヤモンド単結晶の刃物を作りまして、これで切削して材料を削り取っていくというものです。このような加工は、光ディスクのレンズには不可欠な要素になってきておりまして、これをいかに微細化するかとか、あるいは、ピッチと深さの比として、深さのほうをどんどん大きくできないかとか、こういったことをやっております。

これはある意味で、どこまで微細なものをどれだけかの能率でできるかという研究的なものもありますし、実際に、うちのベンチャー会社で、「こんなものはできないか」と言われますときちんと作って何某かの費用でお出しするというような仕事もかなりございます。マシンや環境の構築から、そのオペレーションまで非常にスキルと研究が必要になりますので、企業にとってはリスクになってしまう訳です。そういったものを一から導入しますと非常に大変だということで、導入するまで、あるいは人材育成の間、私どもがつなぎましようということで、いろいろとこういったものを作って独自加工技術の提供をさせていただいております。

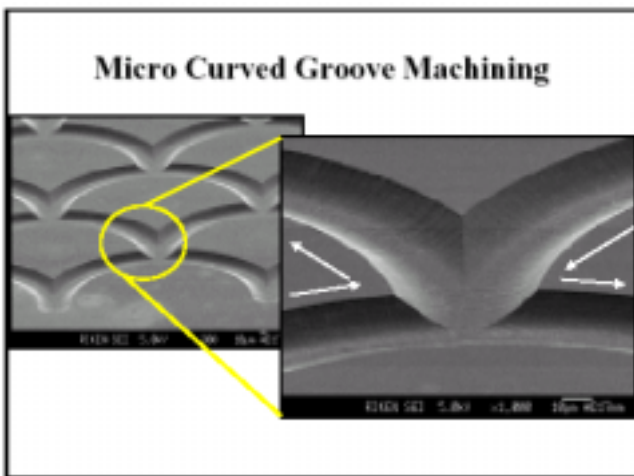
これも溝加工の事例ですが、矩形状の溝を加工した事例です。こういう溝の形状に合わせたダイヤモンドの工具を作りまして、切削して作っております。



回転軸を斜めにしてやりますと、アールの微細溝ができるといった加工があり、エンドミルによる切削と言いますか、そういったものに近い加工です。



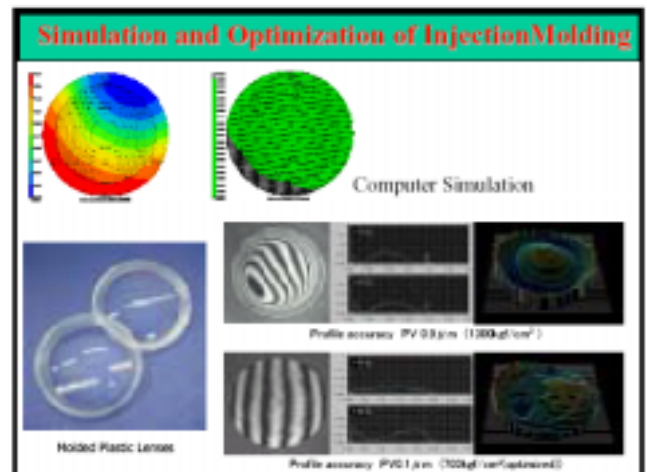
他にもいろいろと微細なパターンの加工をしております。ちょっと注目していただきたいのですが、このような例では、普通ですとここに段差が出るのではないかと思うのですが、全然これは段差がないということです。実際にこの深さの精度を計ってみますと誤差が 20 ナノなかったのです。これは計測して制御しておりませんで、これはマシンの精度そのままが転写されたということができ、優れものであることは間違いありません。



それから、よく、バイトの形状とか加工の条件にもよるのですが、微細形状にバリが出るとかシャープにならないといったことがあるのですが、やり方の問題で、いろいろと基礎研究をしているのですが、微細加工はせっかちにやってはいけません。かなり相当量を一度に削らないといけなくなると、どうも材料が取り切れないでバリになる。このナノレベルのバリの発生についても、こうしたいろいろな現象をつかんで研究していき行こうと考えています。

あと、除去加工ではないのですが、プラスチック成形の研究も最近ここ 3 年ぐらい始めておりまして、結局は、こういうレンズの成形などの研究についてよくやっているのですが、金型は最終製品ではありませんので、多くのお客さんは、その金型で作るプラスチック製品とか、成形された製品が必要となる訳です。ですからやはり、閉じた技術をつくるという意味で、金型を作って、成形して製品をアピールできるようにしないとなかなか導入していただけないということがあって、成形装置の開発も含め、レンズの成形プロセスの研究などもしています。歪んでしまう条件と、非常にきれいにできる条件、こういったものを最適化して行こうとするコンピュータシミュレーションと、実験による実証ということを並行して進めています。形状誤差は 0.1 ミクロンという超精密な領域にも入ってきています。金型とか最近のガラスレンズなどですと、当然、先ほどの、計測して修正するという技術でできてきているのですが、プラスチック成形では、溶けたプラスチックが金型の中に充填されて、冷やされて開けて取り出すということで、誤差を 0.1 ミクロンにするというのは、歪みの発生により非常に難しいのです。削って作るとか磨いて作ったりするほうが、逆に言うとなんと楽といえれば楽です。

今、卓上型の成形装置も開発しておりまして、みんなテーブルトップで、例えば高さ 10 センチに入る製品ですとこうした装置で十分作れるようになってきておりまして、テーブルトップの金型加工機とテーブルトップの成形技術をセットにして販売するとか、いろいろと検討を進めております。



先ほど、計測と加工は表裏一体という話もいたしました。計測についても近年いろいろな研究をしております。計れないものは加工できないということは身を持って感じたり、ある意味で痛い目に遭っていますので、計測もしっかりやろうということで研究テーマの1つに設定しております。加工機上で形状を計るプローブなども独自開発です。それから、原子間力顕微鏡も用います。これは大きい物を連想されるかと思いますが、加工機上計測用には、卓上型の機械に乗る程度の原子間力顕微鏡がございます。やはり、機上で原子間力顕微鏡を使って微細な形状の測定をするといった独自の技術があります。他に、レーザーにより非接触で形状を計るものがあります。大体2~3種類の測定装置、測定方式、これをいろいろと企画、あるいは組み合わせて加工機で計測をするということをやっております。

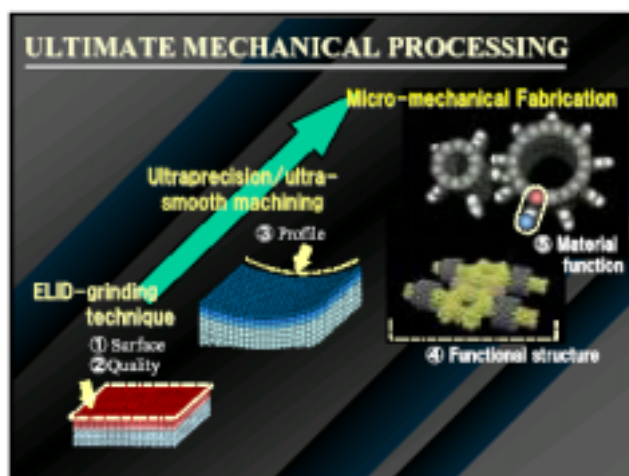


私の研究はこんな感じで進んできたという図ですが、まずは、ELID研削がきっかけになりました。割とフラットな面、しかも硬いものを非常に良質に鏡面加工していく。それで、これは結構速くできますので競争力はあるということです。それから、超精密加工装置、あるいは、ナノ精度加工装置を開発して形を作っていくということなんです。

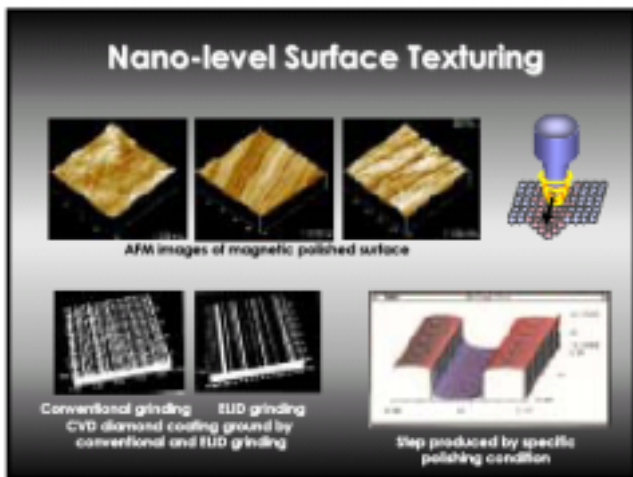
これから何があるのかということで、これはまさしくサイエンスの世界ですが、やはりものづくりのサイエンスという意外と地味なのですが、そういった中で私どもは新しい、最先端といえますか前衛的なものを作っていくということで、何かやはり機能を持つ微細構造、例えば先程の溝加工とか、光

を制御できる非常に特殊な機能を持った構造などがあります。今までは、粗さや形を作るという結構マクロな加工だったのですが、やはりミクロな機能を持った構造を加工できないかというものです。単なる形とか粗さではなくて、何か特殊な機能を持つようなものがないかというものです。

あとは、材料の機能を引き出すと言いますか、あるいは変える加工ができないかというものです。例えば、材料を削り取ると元の材料よりも弱くなるのが普通なのです。削りますと傷が入りますから、傷はゼロにはなかなかならない訳です。そうすると、どうしても元の材料よりも表面が弱くなったり、摩擦し易くなったり、壊れ易くなったりします。しかし我々の最近の技術ですと、加工するとより強くなるといった加工ができます。これは、加工するだけで材料以上の機能を作ります。改質と言っていました、変えるだけでは面白くないので、加質と言って、質を加える加工という言い方もしております。



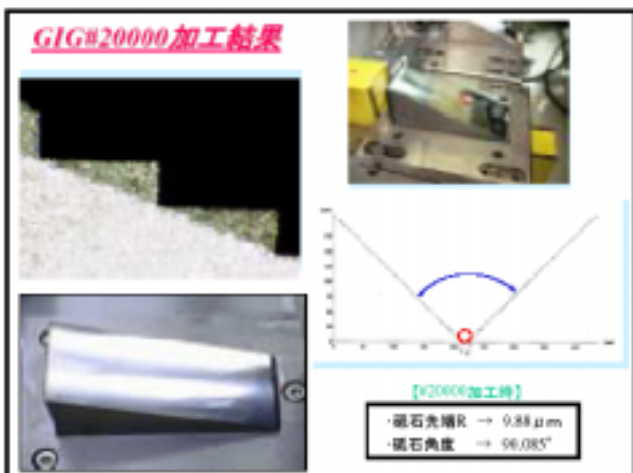
幾つかの事例ですが、やはり表面の粗さはもちろん不可欠な要素です。粗さを制御できるかどうかということも重要ですが、最近、電子デバイスなどは非常に薄くなってきていますので、加工による傷も少なくできて、もしどんどん極限まで薄くできれば、実用面ではメモリの高密度実装も可能になると思います。あとは、表面のテクスチャリングなども重要で、粗さが同じでも様相が違ってくるものを作れないかと考えています。粗さが同じでも、様相が違えば機能が違ってくる訳です。先程の一種の機能性構造といったものになるかと思っております。



「ものづくりにサイエンスがあるのか」とよく聞かれるのですが、ものづくりには大体原理はあって、それをどう使うのかというところが主ではありませんが、「例えば、1個作る作り方と、100個作る作り方と、それ以上作る作り方は全部違うのです。そこを見極めるのがうちの仕事だ。サイエンスだ」という話をしますと妙に納得していただけるということで、どうやってできるか、できないものをできるようにしたいという、使用前後に加工できなかったものができるようになるという、そういったところが1つ、我々のサイエンスかと思えます。

表面をいじって何か機能を付加してやろうなどと考えると、さっき触れました、流体で磨いていると、表面をもっと制御できないだろうかとか。最近では、触らないで磨けないかとか、いろいろそういう哲学的な話になってくるのですが、その辺がサイエンスではないかと思っております。

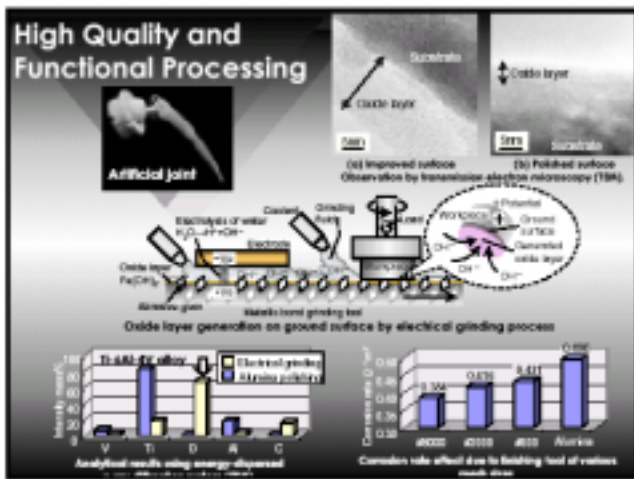
あと、レンズや回折格子など光学部品の微細化、高機能化というのは著しい状況となっております。



また、マイクロマシンの開発とかマイクロ機械部品の加工とか、やはり1ミリとか1ミリ以下の部品の加工ができないか、種々トライしております。内視鏡などですと、0.3ミリのレンズを加工した事例もございます。ちょっと小さ過ぎて、機械に取り付けようとしても卓上型の機械でやらないとだめです。やはり機械が大きいと、取り付ける位置が作業員から遠くなってしまいますと、もうとても見えないと言いますか作業が難しくなります。あと、加工中に間違っ落ちてしまって水と一緒に流れて見つからないとか、よくやったことがあります。

あと、最近の新しい研究としては、さっきは表面改質と言いましたが、表面加質もできます。やはり人工歯根とかインプラント、体内に埋入する機械的な部品は過酷な環境にさらされ、錆びる危険があります。そこで、我々の加工技術で表面が錆びないようにできないだろうか、というアプローチがあると考えています。錆とか摩耗とか、そういったものに対して加工することでより強くするといったことができるようになってきたと考えています。

ある種、ELEDから派生したまた新しい技術なのですが、ELEDで砥石を電解する時、よく考えますと、水溶性液を介して電解を起こすのですが、その水も実は同時に電気分解されます。砥石が溶けるのと一緒に水も電離する訳です。H₂OがH⁺とOH⁻というイオンに分かれます。このOH⁻イオンというのは、ある意味では金属材料に関しては侵食性を持つといえますか、ある意味で反応性を持ちます。そして、金属材料を加工している時に、この金属材料にプラスの電圧を与える訳です。もちろん、さっき「砥石もプラスだ」と言いましたが、この工作物、つまり金属材料のほうにもプラスの電圧をかけてやりますと、このOH⁻イオンが加工面に引き寄せられて行きます。最終的には、この作用が金属表面で厚い酸化膜を作ってくれます。厚いと言いましても20とか30ナノぐらいですが、十分、自然の酸化に比べると十分厚い膜ができます。これが加工しながら自動的に形成されるということで、加工された表面は錆び難くなるのです。その時、アモルファスの酸化被膜が形成されることが分かってきました。



これは、表面を錆び難くするだけではなく、表面を硬くすることもできるのですが、硬くなる一方で弾性があるという非常に不可思議な状態が作り出せる訳です。これは、アモルファスの酸化被膜が表面にできるということが、恐らく構造的な特徴を持っているのではないかと予測しております。

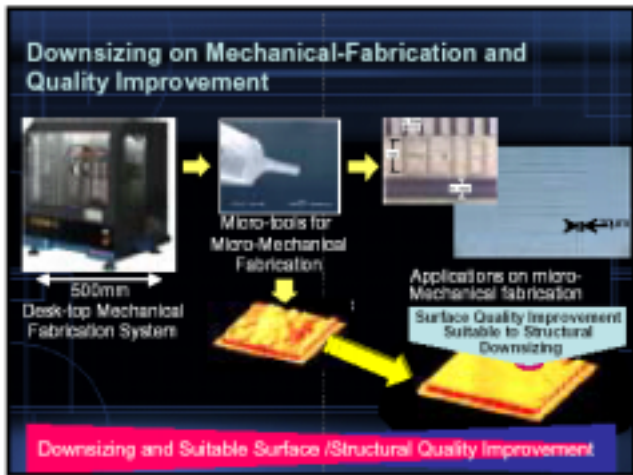
ダイヤモンド砥石を使いますと、ダイヤモンドはカーボンですから、カーボンが常に加工物に触りながら削っている訳ですので、最近では、酸化膜と一緒にカーボンが加工物の表面に拡散していくという現象が分かりまして、さらにダイヤモンド砥粒の代わりに違う砥粒を使ってやりますと、その砥粒に入っている成分が拡散できるということも分かって参りました。砥粒をいろいろ変えてやると好きな元素が加工物の表面に拡散できるということで、より何かに親和性を持つような表面が、加工だけで作れるのではないかとということに気が付きました。それで実際には、 SiO_2 すなわちシリカ砥粒で加工しますとシリコンが加工面に拡散するということが分かりました。シリコンが金属材料に拡散しますと、その後、例えばダイヤモンドライクカーボンのコーティングとか、そういった硬質皮膜をつけたときに密着性が上がります。それは、CとSiが金属の表面に拡散しているものですから、後で付けるダイヤモンドライクカーボンの膜が非常にくっつきやすくなって、剥離し難くなるという性質があり、普通は、コーティングする前に親和性の高い膜を一回つけてからコーティングしますが、それが要らないので、加工することにより表面に新しいファンク

ション、つまり新しい機能を与えるということができたのではないかとことです。

あと、本日見学していただくときに、1階の実験室の前にパネルがございますのでご興味があれば見ていただきたいのですが、工作物に与える電圧をいろいろコントロールしますと、この膜圧も制御できまして、これにより150ナノ、120ナノとか厚めに被膜をつけると色が付きます。発色して見えるのです。それで、レインボーカラーパターンのように、電圧を変えてやると金属材料の表面に色を付けることができますので、これは膜圧で干渉して色が見えることとなります。何かそういう装飾というか、意匠性の高いものに使えないかとかいろいろ考えておりますので、もし使い道などのアイデアがありましたらご教授いただければと思います。

時間も残り少なくなって参りましたが、最後に、微細加工の中でも、さっき、E L I Dでやって表面粗さが良いということをお申しましたが、そのE L I Dの粗さが良いという特徴を使って、粗さが良ければ折れ難く非常に細いものができるのではないかとことを考えました。後ほどお話ししますが、いろいろ検証しており、マイクロツールを作って、それで何か次のもっと小さい機械加工ができないか、まずこのツールができないことには話になりませんので、これを何とか作れないかということに着目致しました。その後、穴加工とか切削といったものができないか、そんな研究をしております。

部屋1つ分のコンピュータが昔はあったという事実と、近年のノートPCや携帯電話、デジカメの軽薄短小化などの状況から、想像できない位の恐ろしい技術進歩が、近年、何気なく行われてきたということを改めて認識したのですが、こうした背景で、既に私どものベンチャーでも実用化しておりますが、卓上型の新しい加工システムをいろいろと研究開発しております。私どもの卓上加工装置は、事務機に乗る程度の機械なのですが、それを用いて微細な加工をやるために、そのツール、つまり切削などのための小さい工具がないだろうということで、そのためにまずはマイクロツールの加工をいろいろと手がけてきたという経緯があります。



こういうマイクロツールができれば、こういうマイクロ彫刻とか微細なバイオテクノロジー絡みの微細な構造物の加工ができるのではないかと。しかし、このマイクロツールを非常に細く作るために、やはり表面粗さが悪いとポキッと折れる。いわば、「粗さ」パターンから折れてしまうという現象が考えられます。こういう小さいものを作る上でも粗さを良くしないと作れないということで、こういったところでも E L I D がやはり不可欠な要素になってくることが改めて認識できます。

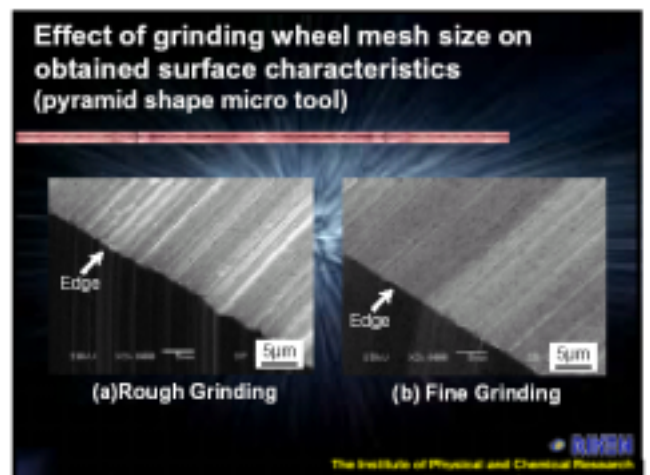
次に、ダウンサイジング、つまり、どんどん物を小さくしていきますと、いろいろな寸法効果と言いますがスケール効果があるという例えでございますが、大きなもの、例えば1メートルの電柱があったとして、その1メートルの柱の表面粗さが1ミクロンとか2ミクロンとか10ミクロンと言いましても、それ自体はあまりこうした大きな物の強度には関係ないと思われま。もちろん長期的なものも含めれば全く関係ないとは言えないのですが、一方で、極めて細い物をつくるときに、表面に粗さの深いものが入っていると、そこから割れてしまうという寸法効果があり得ます。ですから、小さいもの、薄いものとか細いものをつくるときに、粗さも作るサイズに合わせて小さくしないと、やはり小さい構造物ができないのではないかと。ということです。

そういう意味で、直径30ミリ、つまり3センチの棒があったとして、1ミクロンぐらいの粗さがあったとしますと、これはあまり影響ないのではないかと。思われますが、30ミクロンの直径のもので1ミ

クロンの粗さがありますと30分の1ですから、結構効いてくのではないかと。ということです。ですから、これほど小さいものを加工しても粗さが影響しない程度にしようと思ったら、ナノレベルまで粗さを良くしないと。いけないのではないかと。思います。ただ、強度は粗さに比例しませんので、一種の例えですから、できるだけ粗さを良くしたほうが良いのではないかと。というのが言いたいことです。



そこで、我々が開発した卓上型の加工装置で非常に細かいツールを作る時に、やはり E L I D をかけて細かいツールを加工しております。まず、粗さの違いと粗さによるツールのシャープネスを比較しました。鋭利さの違いを比較しておりますが、四角柱の細かいツールを加工して検討しております。



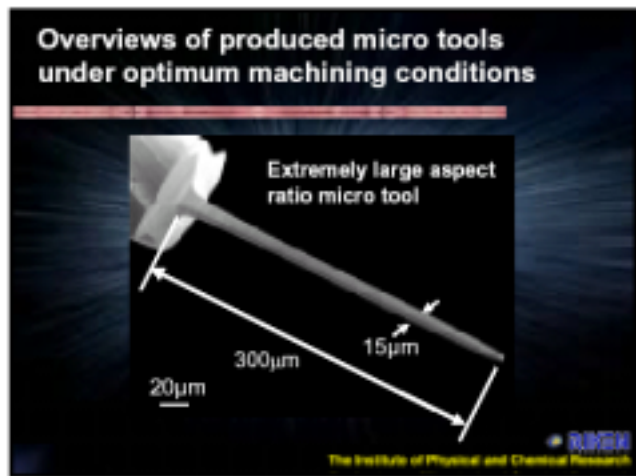
左は1200番の砥石で加工した面ですが、やはり1200番ですとまだ粗くて表面がちょっとうねっています。そうすると、この表面粗さのこの断面がエッジに出て、うねってしまっているわけです。

右は 4000 番というもっと細かい砥石で加工しますと、粗さが良いですから、そうするとこの断面、つまりエッジの部分も非常にシャープにできるといことで、粗さと構造、形状の関係というのが非常に強いものだということです。

我々が今作っている中で、これは先端が2ミクロンぐらいのマイクロツールの加工ができました。ただ、この場合には根元が 25 ミクロンぐらいでテーパ状になっていて、先がちょっと細くなっていますが、これを2ミクロン以下にできないかということですが、もう、加工のほうが細くなって材料がそれに耐えられないということ、多分、この先端の断面に何粒かしかないと思います。もっと緻密な材料ができればもっともっと細くできると思います。

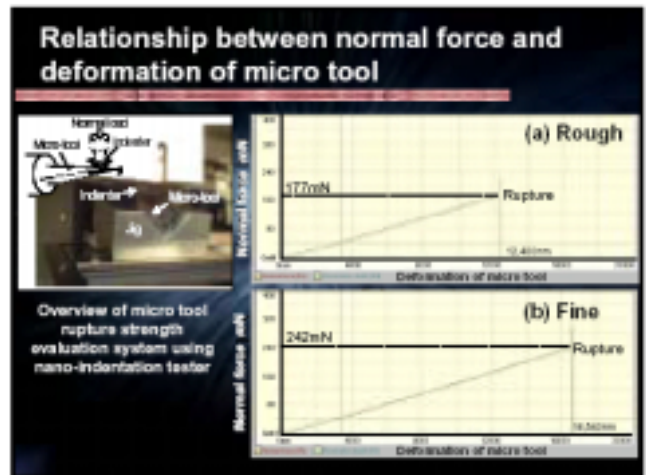


ストレートで、根元も先端も同じサイズですが、15ミクロンで長さ 300 ミクロンのツールができました。

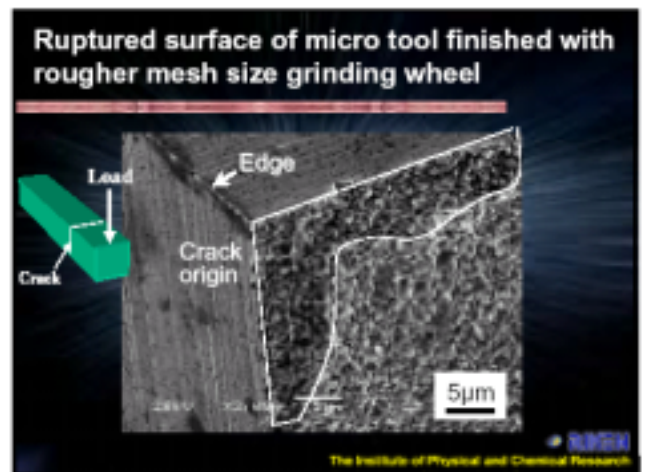


表面粗さが悪いと折れやすいという実験ですが、粗加工のみのマイクロツールでは 177 ミリニュートン、

仕上げ加工されたマイクロツールでは 242 ミリニュートンという力まで、それぞれ耐えることができ、これらはどのくらいの力が想像できないと思うのですが、仕上げ加工でもっと粗さを良くした場合ですと数字が大きくなっているということ、強くなったということが言えます。

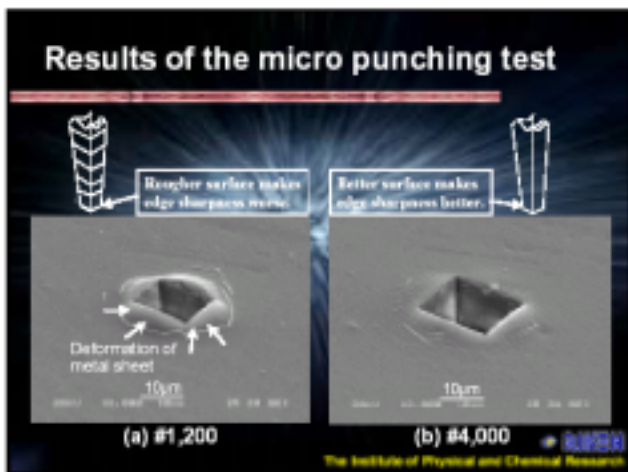


粗加工したマイクロツールが折れた様子を観察致しました。折れたというか、最初に亀裂が入ったものと思われる面ですが、粗さに沿ってきれいに割れているので、粗さがきっかけになって折れたということは十分これで想像ができます。

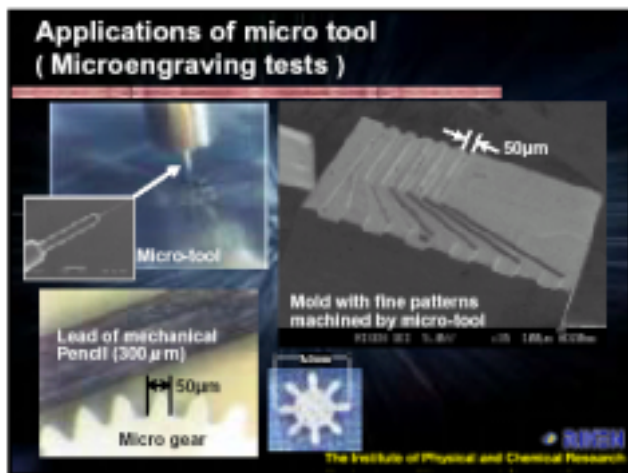


マイクロドリルとかマイクロ切削ツールのような使い方ではなくて、四角形のマイクロツールを作り、マイクロパンチとして金属シートを打ち抜いた写真があります。やはり加工表面や形状が悪い、粗加工のみのマイクロツールでは、さっきエッジがうねっている写真をお見せ致しましたが、やはり切れ味が悪いということで材料が盛り上がりしています。一方、仕上げ加工されたマイクロツール

では、サッと抜けているということで、やはり、非常に表面粗さが良くエッジもシャープだと、良く切れるということは伺えるかと思えます。



あと、実際に作ったツールで切削加工をして、マイクロ金型とかマイクロギアとか、そんなものをつくった事例です。最近さらに、さっきDLCコーティングの話をしたんですが、このマイクロツールにコーティングをして、より耐久性の強いツールとして使えてきているという状況もございます。

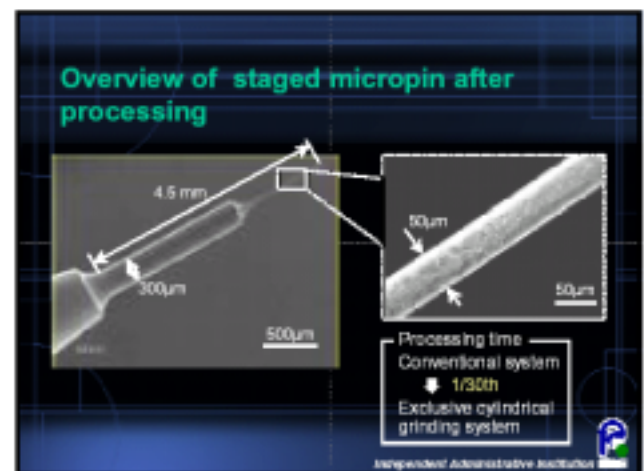


時間がなくなりましたが、最近、このツールを作るのもっと生産性が上がらないかということでちょっと追加したものがあります。さっきのツールの作り方は、材料の周りに砥石をグルグル回転させてだんだんと細くするというやり方なのですが、同時に加工しているのは1ヵ所しかないのです。実際、片側から切り込みますと反対側にツールが逃げますので、曲がってしまってあまり力はかけられませんので、やはり時間がかかります。さっきのツールですと3時間ぐらいかかったのですが、今度新開発された卓上型加工装置は、サイリン方式と言いま

て、砥石を2枚同時に両側から挟み込んでツールを加工するやり方で逃げ難くなり、速く連続的に加工できますので、大体6分ぐらいで加工ができます。それで相当、生産性が30倍速くなったということで、マイクロツールが短時間で作れます。



これは段つきですが、長さ4.5ミリで、ここが300ミクロンで先端が50ミクロンぐらいです。こういったものが6分ぐらいでできます。



もちろん、多角形のマイクロツール加工もできます。ちょっとトリックがあって、ツール素材を連続的に回転すると丸いものしかできないのですが、回転角度位置決めをしていきますと多角形ができますので、最近では、八角形のツールまで作っております。これまでに、四角形、六角形、八角形断面のマイクロツールで切削加工の試験を進めており、切れ味や寿命がどのようなツールが良いのかなど、いろいろ調べております。こうしたマイクロツールの加工により、バイオ関連の溝加工などもやっております。

私どもはこういう微細加工のために特化したマシーン自体や、そういったものの要素技術の研究もしておりますので、最後にちょっとその辺をお見せします。「マイクロワークショップ」という考え方で、みんな事務机に乗る程度の小さい工作機械、これを使用目的によって組み合わせることで一種の工房ができるというアイデアで、材料を切って平らにしたり、彫り込んだり、計測をすとか、微細に彫り込むためのツールも作れるので、マイクロワークショップと言っておりますが、いわば実用的な「マイクロ工房」ではないかと思えます。



切断する機械、フラットに磨く機械、三次元形状加工から、4軸によりもっと複雑な形状ができるマシーンがあります。相当超精密な卓上型加工機もあります。使用目的により、いろいろと小さい加工に使い勝手が良いマシーン群です。小さい部品が増えて、小さい部品は小さい機械で合理的に作ったほうが良いのではないかとということで、E L I Dを使えば小さい機械でも十分加工できるということが分かりました。砥石が良く切れるとあまり力が必要ありませんので、超合金とかガラスなどの硬質材料も卓上型の機械で削って磨くことができます。卓上型の機械としては、ホビー用に木材やプラスチックを削る機械は出ていたのですが、硬脆材料を削って磨いたり、微細な金型が作れたのは初めてだと思います。これを売りにして行こうということです。

また、卓上型の三次元測定機も開発しています。さらにテーブルトップの成形機なども作っておりますので、金型さえできれば小さい部品が量産化で

きます。さらに、圧縮成形装置もあります。このように、いろいろな機能をそれぞれの機械に与えまして、それを組み合わせるという手法で独自のマイクロ加工のシステムを作っていくということです。

以上、総括をさせていただきたいと思いますが、メカニカルファブ리케이션として、機械加工は、従来と比べものにならない進化を遂げたと我々は考えております。まだまだ機械加工がやるべきことは沢山ありますが、やはり生産に結びつけるという意味で、非常にリピータブルで、再現性が良い、制御性が良いということと、しかもテーブルトップの機械までできてきたこと、小さい部品を半導体の製造のラインでやろうとすると長大な投資が必要になって、1つの部品を作るのでも相当な規模になってしまうのですが、やはりいろいろな試作や研究開発を含めて、小さい部品を小型の機械でナノ精密を目指してやっていくということも、1つのこれからのトレンド、方向かと思えます。もちろん、他のこれまでのプロセスとの連携も重要です。薄くする、細くする、あるいは細いものに形状を付けるとか、複雑な成形をすとか、レンズ機能を構造とか粗さで出すとか、表面のテクスチャーとか、異種材料の積層デバイスをフラットに加工すとか、まだまだ未知の機械加工の可能性が残っていると思えます。



ますますこの方向を究めていきたいと思えますので、もし皆様のほうから「うちの技術に使えるそうだな」というお話がありましたら、ぜひお寄せいただければ何らかの形で対応させていただきたいと思えますので、よろしくお願いたします。

この講演録は、平成 17 年 3 月 3 日に、
理化学研究所（和光）で開催された当財
団及び埼玉りそな産業協力財団主催の技
術懇親会での講演を収録・編集したも
のです。

**著作権法により、無断複写・
複製は禁止されています。**



RESONA

財団法人 リそな中小企業振興財団

The Resona Foundation

For Small And Medium Enterprise Promotion

〒141-0021

東京都品川区上大崎 3 2 1 目黒センタービル 4 F

Tel.03-3444-9541 Fax.03-3444-9546

URL: <http://www.resona-fdn.or.jp>

E-mail: staff@resona-fdn.or.jp