Osaka University Knowledge Archive

Title	EEMの原理と応用
Author(s)	森, 勇蔵; 山内, 和人
Citation	大阪大学低温センターだより. 1986, 53, p. 12-16
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/9689
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

EEMの原理と応用

工学部　森　勇蔵（吹田4621）
山内　和人（吹田4622）

1. はじめに

EEM(Elastic Emission Machining) とは、2種類の固体を接触させた場合、形成された界面に於いて相互作用力（結合力）が生じ、それらを分離するとき一方の固体表面原子がもう一方の固体表面原子を除去する場合があり、この現象を加工に応用したものを称している。具体的には、サブミクロン以下の極微細な粉末粒子を加工表面に無荷重状態で供給し、それを運動、分離させることにより、上述の現象により除去加工を行なうものである。この原理を応用した超精密加工法としては、著者等が開発したNC EEM[1)~3)]がある。ここでは、本加工法について紹介し、次にその加工現象の本質解明のために行なっている研究について簡単に紹介する。

2. NC EEM

NC EEM では、微細粉末粒子を工作物表面に水平に作用させるとともに、単位時間当たりの作用粒子数を安定させる方法として図1に示す流体軸受け的流れを利用した加工を行なっている。つまり微細

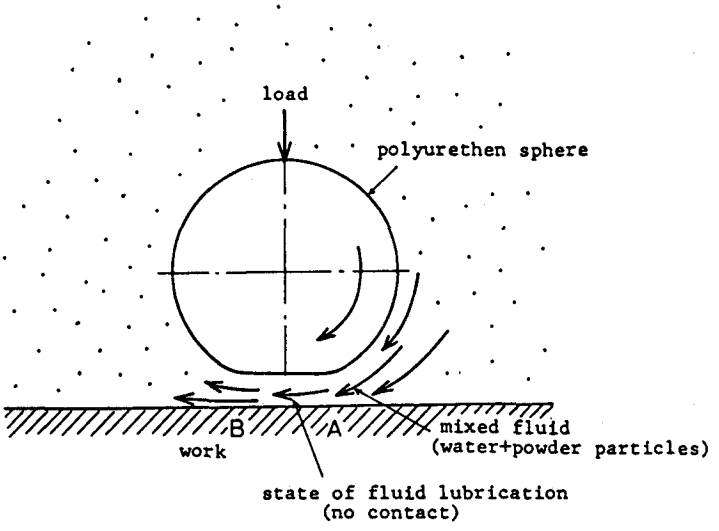

図1. NC EEMの原理図

粉末粒子を一様に懸濁した液中で低弾性体であるポリウレタン球を回転しそれを工作物に近づけたときに生じる流体軸受け的流れを用いて混合流中の微細粉末粒子を加工物表面の微小領域（ϕ＝1〜2㎜）に作用させ加工を行なうものである。図2はポリウレタン回転球と加工表面間の流線を示している。流

体膜は、荷重と流体の動圧との釣り合いにより一定に保たれ、流量が一定になることから、単位時間当たりの作用粉末数を一定にすることができる。これにより各点での加工量は、その点での加工時間により決定され、各点で加工時間を制御しながらポリウレタン球を加工域全域に渡って走査すれば、任意の形状の加工が行なえることになる。図3は、フロートガラスのA部をB部の高さに加工した例である。これより0.1μm以上の精度で加工されていることがわかる。図4に示すように、加工面の表面粗さは、タリステップの分解能（5Å）以下であり幾何学的に完全鏡面であるといえる。また、粉末作用時の応力場は弾性域であることがわかっており、[4] "固相反応による化学研磨"と考えることができ、表面物性的にも優れたものが得られていることが予想される。実験的には、MOSバラクタのC－V特性より求めた表面準位密度においても化学研磨面と変わらないという結果を得ている。その他では、フォトルミネッセンス相対強度の測定を行なっているが、これも図5に示すように化学研磨面と全く変わらないことを示している。[5]

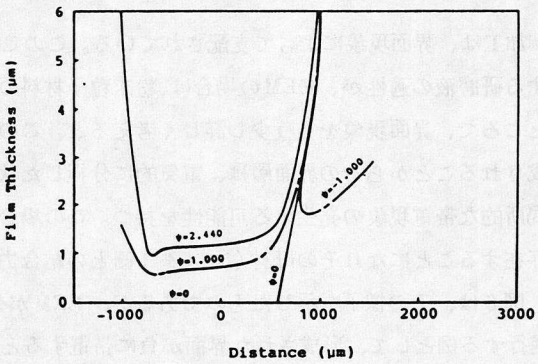

図2. ポリウレタン回転球と加工表面間の流れ

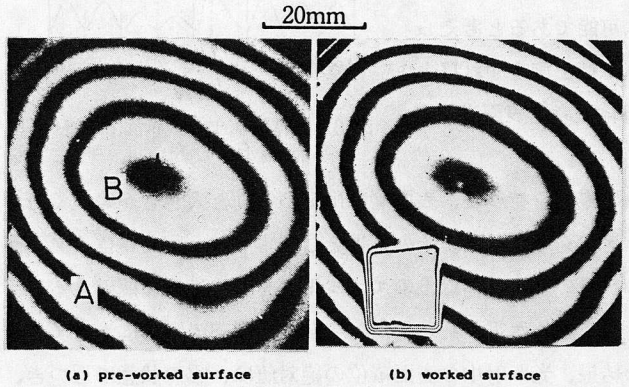

図3. NC EEMによる加工例 A部がB部の高さに平面加工されている。(加工物；フロートガラス，60×60㎜，1フリンジ：0.27μm)

図4. タリステップ（分解能5Å）によって測定したNC EEMによる加工面の表面粗さ〔加工物；単結晶Si(111)〕

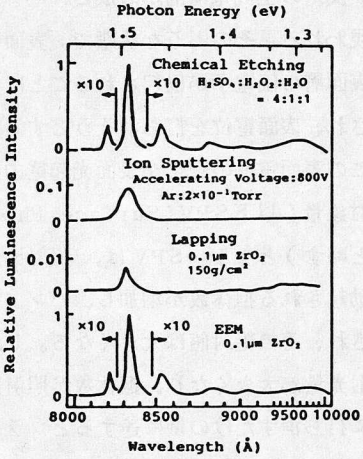

図5. 各種加工面のフォトルミネッセンス相対強度

3. EEMの加工機構

加工は、界面現象によって支配されている。このことは、化学研磨のときにみられる加工物材料に対する研磨液の適性が、EEMの場合は、粉末粒子材料の適性として現われて来ることからも明らかである。ところで、界面現象をもう少し詳しく考えると、この場合形成される界面は異種原子間結合によって形成されることからその界面層は、電気的に分極した状態であり、しかも電子受容準位の有無によっては局所的な帯電現象の発生する可能性を持つ。この場合、加工表面原子は、バルク内とは異なった状態に存在することになりその母材（バルク）側との結合力が減少するような場が形成され得る。

図6は、その様子を示したものであるが、EEMが効率よく進行する例として、形成された界面が負に帯電すると共に大きく分極しており、その局所電場によって加工表面原子のバルク側との結合力が低下し表面からの原子の自発的な離脱が促進されている場合を示している。このような現象の理論的解析は、界面の原子配列を適当に仮定して、クラスターを作り電子状態を求めてやれば少なくとも定性的な予測は可能であると考えられる。[6] また、実験的には、界面の捕獲電子量を測定すればよく、著者等は、加工物としてSiなどの半導体を考え表面光起電力法によってこれを調べようとしている。

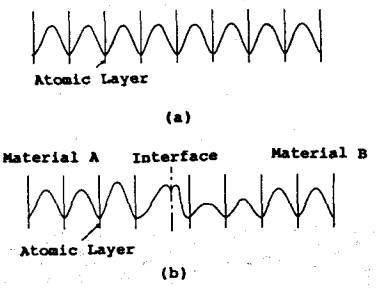

図6. 結晶内(a)及び界面(b)における価電子の分布

半導体または絶縁体の表面が正または負の電荷を持つと、表面層にはその電荷と大きさが等しく符号が反対の空間電荷層が形成されバンドベンデングが生じる。その結果として零でない表面電位（V_S）が現われる。そのような状態で、表面にその材料の禁止帯幅以上のエネルギーを持つ光子を照射すると、表面層の価電子が励起されることにより、形成された電子ー正孔対が空間電荷層内の電場によって分離され、表面電位を打ち消そうとする。その結果、光照射中の表面電位の絶対値は、零の状態に近づき、この表面電位の変化が表面光起電力法における測定対象量（以下SPV（Surface Photo Voltage）と略す）となる。SPVは、照射光量が大きいほど励起される担体数が増加し、バンドの曲がりは緩和され、その絶対値は大きくなる。しかし、さらに照射光量が大きくなり、担体数が照射前の電界を完全に打ち消すだけの量に達するとフラットバンド状態が得られたことになり、これ以上光量を増大してもSPVの絶対値は大きくならない。本研究では、粉末粒子が表面に吸着したときの表面電位を測定するのが目的であるが、粉末の吸収による有効照射光量の減少によってSPVが変化することを避けるため十分な光量のもとでのSPVの飽和値により評価した。これは、このときのSPVが表面電位に等しく

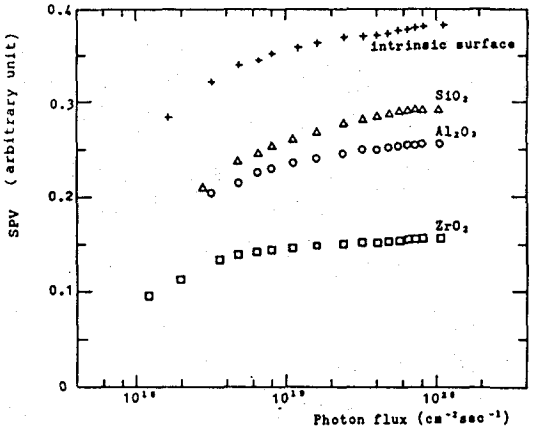

図7. 各種粉末を付着させた場合のSPVの光量依存性

なるからである。SPVは、雰囲気によって変化するため高真空中で測定しており、また担体濃度は、温度によって変化するため必要十分な温度制御も行なっている。信号は、測定面に近接して置いたグリッドに誘起される電圧として検出した。結果を示しているのが図7であり、ZrO_2, Al_2O_3, SiO_2粉末の付着によってこの場合の加工対象物として考えているSiの表面電位に換算すると、それぞれ、0.28eV, 0.15eV, 0.11eVマイナス側に変化している。表面での電子のエネルギーの上昇は、Fermi−Dirac分布によって与えられる量だけ、確率的に表面原子の第2層原子との結合に関与する電子の数を減少させ、結果として表面原子の除去を促進する。即ち、ZrO_2, Al_2O_3, SiO_2の順にSiに対して加工能力が高いことを示しているものといえ、図8に示したその粉末の加工特性の傾向と一致する。しかし、ここで測定しているSPVは、あくまでも粉末が付着した後、更に熱平衡に達した後の表面電位であり、Siの担体濃度に見合う量だけ表面電位は既に緩和されている。系は、自由エネルギーが最小となるように変化してしまっているわけである。加工時に粉末が工作物表面に作用したとき、工作物第1層原子の結合に関与する電子が界面の電子準位に捕獲されたその瞬間は、＋eと－eがほぼ原子間距離のオーダーで存在することになり、そのときの局所電界は、非常に大きくSPVの測定よりわかる熱平衡状態での値よりかなり大きく加工を促進する場が形成されているはずである。

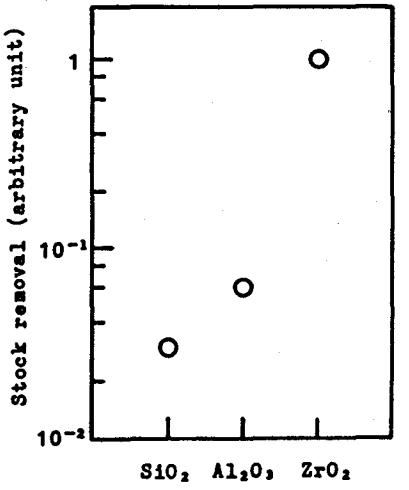

図8. 各種粉末を用いてSiを加工した場合の加工速度

4. おわりに

EEMについて簡単に紹介した。EEMは、その特異な加工特性から"固相反応による化学研磨"と考えることができ、物性的にも興味深い。しかし、現象の起こる場が複雑であるため、整備された条件で得られた固体物理の分野での成果を直接適応してゆくことはできない。とはいえこれは超えなければならない壁である。

参考文献

(1) 森　勇蔵，井川直哉，奥田　徹，杉山和久，山内和人：EEM(Elastic Emission Machining)による超精密数値制御加工法－流体の挙動と膜厚分布－：精密機械，49,11(1983) 1540.

(2) 森　勇蔵，奥田　徹，杉山和久，山内和人：EEM(Elastic Emission Machining)による超精密数値制御加工法－流体中の粉末の挙動と加工特性－：精密機械，51，5，(1985) 1033.

(3) 森　勇蔵，井川直哉，奥田　徹，杉山和久：EEM(Elastic Emission Machining)による超精密数値制御加工法：精密機械，46，12(1980) 1537.

(4) 森　勇蔵，井川直哉，杉山和久，奥田　徹，山内和人：EEM(Elastic Emission Machining)の基礎研究（第２報）ー応力場から見た格子欠陥の発生、増殖の可能性：精密機械，51，6（1985）1187．

(5) 森　勇蔵：Elastic Emission Machining とその表面：精密機械，46，6（1980）659．

(6) 森　勇蔵，山内和人：Elastic Emission Machining ー粉末粒子、工作物間の相互作用と加工特性ー：日本学術振興会，145 委員会研究会資料，23（1983）19．

編　集　後　記

前編集委員長の長谷田先生のお誘いで編集委員の末席に加えて頂いてから一年半程になります。この度は編集後記の順番で一筆書かねばならぬ事になりました。実状はと申しますと、若輩の上理論屋なので何のお役にも立たず、ただ置いてもらっているだけなのですが、個人的には編集会議で皆様方の議論を聴いているだけで面白く結構楽しんでやらせてもらっています。内心は役立たずで良いのだろうかという気はしているのですが。

今月号の内容紹介。産研の掛下・清水両氏〝磁気弾性型マルテンサイト変態〟：阪大の強磁場を使った実験のお話で何か面白い応用がありそうです。工学部の金・吉野両氏〝極低温液体と極低温電気絶縁〟：液化希ガスの絶縁破壊のお話です。理学部の細谷氏〝宇宙３Ｋ輻射とインフレーション〟；現在の宇宙を満たす３Ｋ輻射に秘められた壮大なドラマのお話。工学部の森・山内両氏〝ＥＥＭの原理と応用〟；表紙のタイムトンネルの様な奇麗な写真は両氏の記事からとらせて頂きました。

年末の編集会議で技術ノートの様なノウハウ物の記事が最近減ってきているという意見が出されました。あまり専門的に高度なものでなくとも〝ちょっとした技術シリーズ〟の様な類の記事が有益ではなかろうかという事で、少し材料を集めてみようという意見が大勢をしめました。さてどうなります事か、乞う御期待?!

なお創刊号以来当センターだよりの中心メンバーとして活躍された本河さんが神戸大学に転出される事になり、編集委員会から去られる事になりました。今後はＯＢとして見守って頂ける事と思います。長い間御苦労様でした。　（川村　光）