

文部省 COE「大阪大学・超精密加工研究拠点」の形成 — 完全表面の創成をめざして —

特集 プロジェクト研究

森 勇 蔵*

COE : Osaka University • Ultra-precision Machining Research Center

Key Words : Center of Excellence, Ultra-precision Machining
Perfect Surface, Physical and Chemical Processing

1. はじめに

「超精密加工」という言葉は、昭和38年(1963年)頃、米国において Ultra-Precision Machining として、人工衛星に関連した加工の論文で使われたのが初めてである。これに刺激され、本精密工学会(当時、精機学会)に超精密加工分科会(超精密加工専門委員会)が設立され、我が国で初めて超精密加工という言葉が使われたのである。当時、精度の高い加工といえば機械加工であり、超精密加工といっても形状精度 $0.1\mu\text{m}$ 、表面あらさ $0.01\mu\text{m}$ 程度であるが、機械要素の加工としては申し分のない高い精度であった。また、機械加工は、人類始まって以来、石器時代から主に経験に裏付けされたすばらしい加工法として発展し、今日でも大いに人類に貢献していることは言うまでもない。

ところで、人類が成し得る加工の究極といえは、物の形を構成している最小の単位が原子であることから、当然、原子の大きさ (0.2nm) までであると断言できるのであるが、それを機械加工で可能なのか、それ以外に新しい加工法があるのかという自問自答の末、材料内の欠陥の運動、増殖に基づく機械加工では不可能であるという帰結に達し、新しい物理化学的な現象による原子単位の加工への挑戦が始まったのである。その時、筆者は25歳、いまから32年前のことである。当時我が国は大量生産が至

上命令の時代、原子単位の加工ができたとしても何の役に立つのかも見えず、時間が経ても、筆者が生きている間に役に立つとも思えなかったものである。しかし、世の中の進歩は目覚ましく、30年を経て原子レベルの加工があらゆる先端技術や基礎科学の分野で必要となってきたのである。こういった歴史を経て、大阪大学工学研究科精密科学専攻を核として筆者がリーダーを務める文部省 COE プロジェクトの1つがスタートを切った。

2. COE 形成プログラムについて

文部省は平成7年度から学術研究の卓越した拠点(センター・オブ・エクセレンス、COE)の形成プログラムを開始した。その中で、中核的研究拠点形成プログラムには、学術審議会の審査により全国から平成7年度に6件、平成8年度に7件、平成9年度に7件が選定された。その一つとして、平成8年度に「完全表面の創成」をテーマに、「大阪大学・超精密加工研究拠点」が設置された。これから5年間をかけて、先端技術や基礎科学に貢献するとともに、その成果を学術的に世界に発信することができると期待される研究拠点を樹立するように要請されている。

3. 超精密加工研究拠点における研究の概要

3-1. 研究対象

本拠点の研究テーマは「完全表面の創成」である。「完全表面」という言葉は抽象的で非科学的に見えるが、その中に多くの物理的意味を包含したつもりである。過去における高精度の表面は幾何学的に平らであればよかったのであるが、いまやそれは一つの必要条件でしかない。完全表面(層)の創成とは、人類が神の摂理(物理現象)に基づいて考え出した理想的な原子配列を創成することであり、それによ



*Yuzo MORI
1940年3月31日生
昭和38年(1963年)大阪大学工学部精密工学科卒業
現在、大阪大学大学院工学研究科精密科学専攻、教授、工学博士、超精密加工、物理化学加工、表面物性
TEL 06-6879-7284
FAX 06-6879-7286

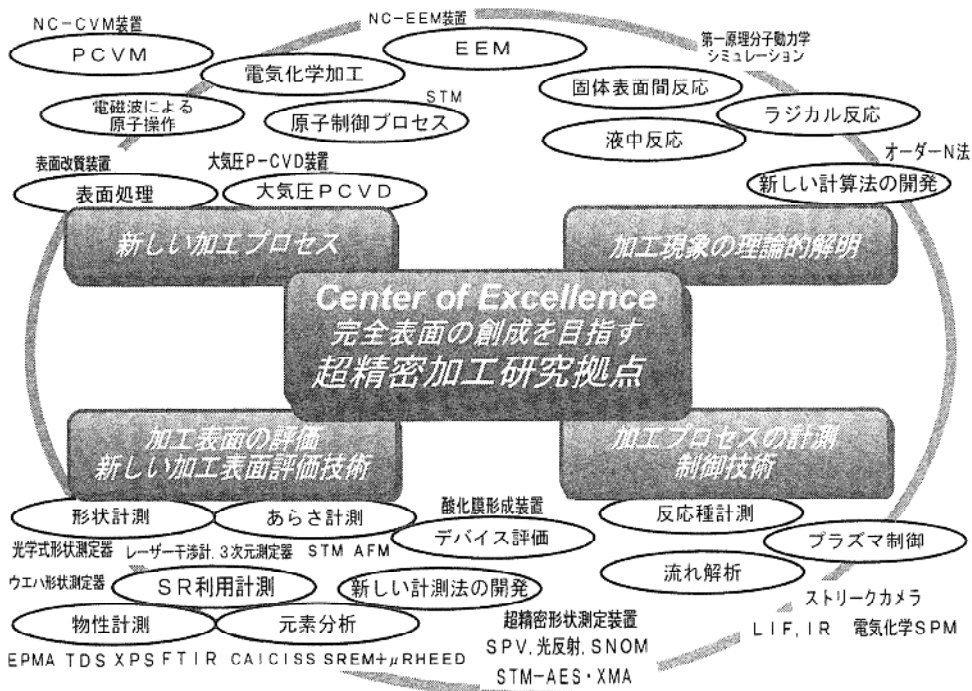


図1 大阪大学・超精密加工研究拠点における研究課題

て未だ経験したことのない新しい電子物性の発現を体験しようとするに他ならない。言い換えれば、現在の先端科学技術の求めている心髄は、原子配列の操作による電子状態のコントロールといっても過言ではない。以下に、完全表面が関連する分野について例を挙げる。

先端技術の分野では、半導体デバイスの基板となるシリコンウェーハの表面に対して、わずかな表面粗さがデバイス特性に影響を及ぼすことから、次世代の超高集積化半導体デバイスでは原子サイズの粗さしか許されない完全表面が必要であると予測されている。また、次世代デバイス用基板であるSOIウェーハでは、シリコン酸化膜上に厚み約10nmの極薄シリコン膜を残して精度よく加工しなければならない。さらにこういった半導体デバイスの製造には、リソグラフィ技術のためのエキシマーレーザーやシンクロトロン放射光等の短波長光源が利用されるが、これらの光源に適したレンズやミラー等の光学素子の開発が必要となる。紫外領域のエキシマーレーザーの場合は、表面粗さを極度に小さくした非球面レンズの開発が、また軟X線領域の放射光の場合は、原子サイズで平坦であり、超高精度の形状を有するトロイダルミラーの開発が望まれている。また、基礎科学の分野では、宇宙の成り立ちを探るための種々

の天体望遠鏡のミラーや、最近注目されている重力波天文学において重力波検出に利用される従来より数桁も高い形状精度を有する共振器ミラー等、完全表面を創成する超精密加工技術が重要となってきている。

3-2. 研究目的

超精密加工研究拠点における研究目的は、任意形状に対して極度に高い形状精度と原子レベルで平坦な表面を作製する超精密加工技術を確立するとともに、創成した表面を原子・電子レベルで評価する技術を開発することである。上に述べたように、機械加工では、そのような高精度を実現することは不可能であり、新しい原理に基づく超精密加工技術が求められている。当該研究グループでは、筆者の考案によるEEM(Elastic Emission Machining)やプラズマCVM(Chemical Vaporization Machining)といった原子制御プロセスに基づく超平坦面創成技術の開発を進めてきている。これらの加工法については後に述べるが、実績として、EEMでは、H2型ロケットの姿勢制御に用いられるレーザージャイロスコプの加工、またCVMでは同位体分離に用いられるレーザー光整形用ミラーの加工を実現した。今後、これらの研究を推進するとともに、このような

超精密加工技術を科学的根拠に基づく学問領域として体系化することを目指している。

3-3. 研究方法

この目標を達成するためには、図1に示すように完全表面の創成を目的とした超精密加工装置の開発を中核として次の4つの課題を有機的に結合して推進する研究拠点の形成を図る。

- (1) 新しい加工プロセスの開発
- (2) 加工現象の理論的な解明
- (3) 加工プロセスの計測と制御技術の開発
- (4) 加工表面の評価と新しい加工表面評価技術の開発

(1)は前期のEEMやプラズマCVMが中心となるが、さらに超純水による電気化学加工の可能性についても検討を始めている。(2)では、これら新しい加工プロセスに対応して、量子力学の第一原理に基づく分子動力学シュミレーションプログラムを開発し、大規模計算を実行していく。(3)では、高圧力プラズマの構造解析や、界面ごく近傍における気体および液体の流れの解析を行い、プラズマCVMにおけるプラズマ制御やEEMにおける加工液の流れを制御しようとしている。(4)は従来技術としての光学的形状計測やSTM/STSによる表面評価を行うとともに、新しい計測法としてSTMにオージェ電子分光やX線分光を組み合わせた方法の開発や、近年盛んになった近接場光学顕微鏡の開発にも着手している。

4. 新加工法の開発

4-1. EEM¹⁻⁵⁾

EEMとは、2種類の固体を接触させた場合、形成された界面において結合力が生じ、これらを分離するとき一方の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ます、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、図2に示すようにサブミクロン以下の極微細な粉末粒子を加工表面に供給し、それを運動、分離させることによって、上述の現象により加工を進行させている。このときに、EEMが効率よく進行するのは、形成された界面における電子状態が、加工物表面原子と第2層原子間の結合力を低下させるように働いた場合であり、EEMは、通常の液相における化学研磨に対して、固体である粉末粒子表面の反応性を利用した“化学

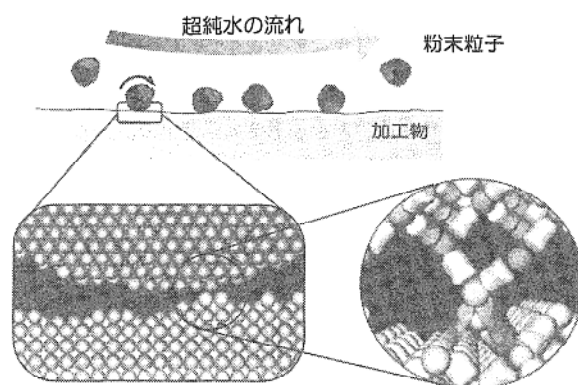


図2 EEMの加工原理

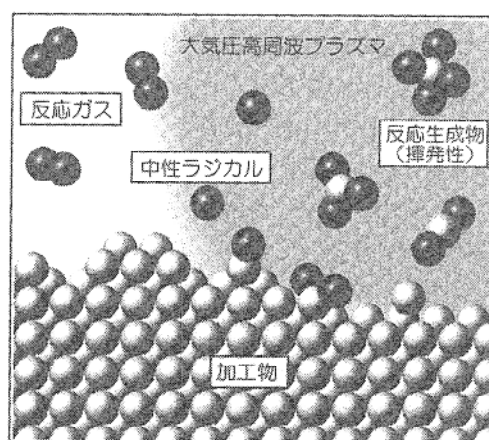


図3 プラズマCVMの加工原理

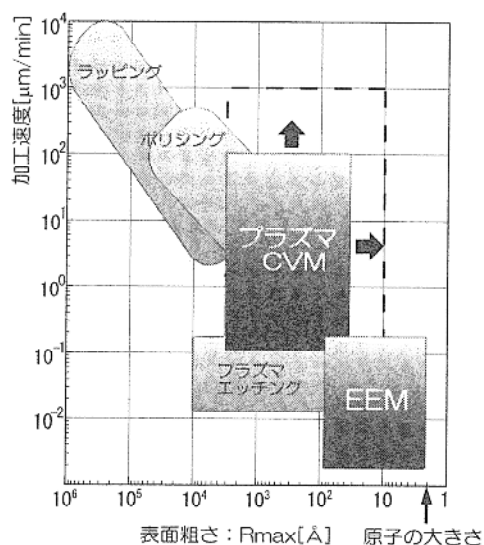


図4 種々の加工法における加工速度と表面粗さ

研磨”ということが出来る。原子単位の加工であると同時に、原子の除去に際して、その原子の結合力

クリーンエリア		ガス種		水質	
面積	420m ³	エッチング用ガス	SF ₆ , CF ₄ , C ₂ F ₆ , NH ₃ , CO	比抵抗	18.25MΩ・cm
クリーンルーム方式	ローカルリターン方式	成膜用ガス	SiH ₄ , CH ₄ , B ₂ H ₆ , PH ₃	微粒子	1個/cc以下
クリーン度 (0.1μm以上の粒子)	1個/ccf以下 (クラス1)	一般ガス	He, Ar, H ₂ , O ₂ , N ₂	生菌	0.001個/cc
FFU台数	106台	供給系特徴		TOC	1ppb以下
循環回数	200回/hr	ガス供給配管	Cr ₂ O ₃ 不働態化	シリカ	0.1ppb以下
新鮮空気取込能力	Max. 200m ³ /min	ガスパネル	集積化	ホウ素	0.1ppb以下
更衣室		純度		Na	1ppt以下
面積	60m ²	水分濃度	0.1ppb以下	Fe	1ppt以下
クリーンルーム方式	天井開口リターン方式	CO ₂ 濃度	0.1ppb以下	Cu	1ppt以下
FFU台数	4台			Cl	1ppt以下
				溶存酸素	1ppb以下

図6 ウルトラクリーンルーム仕様

不要な不純物の混入は論外である。計算物理から思考した場合、極微量の不純物の存在は、長距離に影響を及ぼし、新しい物理の発見にベールをかぶせることになる。それゆえ、次世代をになう新しい加工、成膜、物理計測など、極限技術の研究を行う上で必ず付帯してくる環境、空気、水、ガスの原子、分子レベルでのウルトラクリーン化技術は先端科学技術にとっては必須技術となる。

超精密加工研究拠点では、新しい超精密加工技術

の研究・開発に必要なクリーンルームの建設を目指し、空調・除塵系に加えて超高純度ガス、超純水、高性能薬液洗浄系を備えたウルトラクリーンルームを完成した。平面図を図5に示す。その特徴として、超純水に微細粉末粒子を懸濁させた大量の加工液の供給と管理が要求されるEEM室のため、防水型の超高清浄度クリーンルームを開発したこと、プラズマCVM室、プラズマCVD室では、加工や成膜に用いる大気圧プラズマに必要な、超高純度ガス供給・

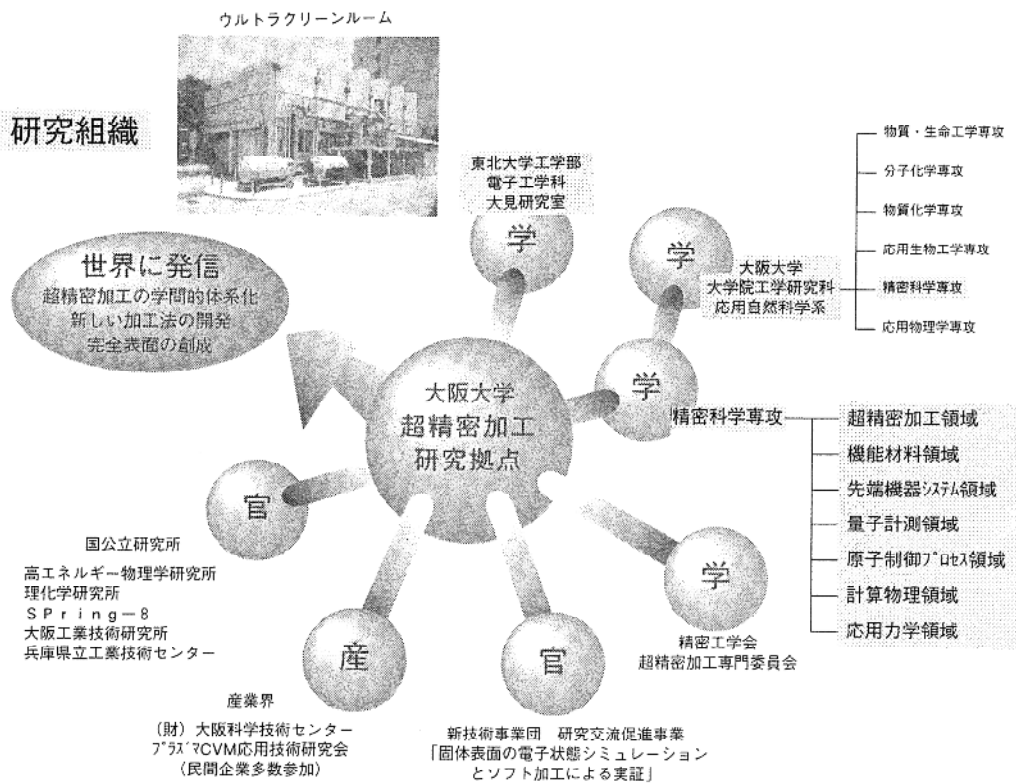


図7 大阪大学・超精密加工研究拠点の研究体制

除害システムを設置したこと、ウェットプロセス室では、大口径シリコンウェーハや1m長の放射光用ミラー等、大面積試料に対応できる洗浄設備を開発したこと、等が挙げられる。ウルトラクリーンルームには、水、ガスおよび装置設置雰囲気のクリーン化技術として、現在最も進んでいるウルトラクリーンテクノロジーが導入されている。又、ウルトラクリーンルームは、排気量の低減化、超高純度ガスの精製循環、超純水の回収再利用等、環境に配慮した省エネルギー思想に基づいた設計がなされており、さらに研究条件にきめ細かく対応した安全管理システムが整備されている。ウルトラクリーンルームについてさらに知りたい方には、大阪大学精密科学専攻から詳細な冊子が発行されているので、そちらを参照していただくとして、ここでは、主要仕様を図6に示すだけにとどめておく。

6. お わ り に

大阪大学・超精密加工研究拠点の現在の研究体制として、図7に示すように、大阪大学精密科学専攻を中心に、産・官・学の連携体制が構築されている。研究拠点における今後の研究成果については、学会発表、国際会議の開催、報告書の作成などによって逐次世界に発信する予定である。

本研究拠点において、大いなる研究成果を挙げるべく、拠点構成員の総力を結集して研究に邁進することはもちろんであるが、この場を産・官・学あるいは学・学のすばらしい共同研究の場として活用し、多くの成果を共有できればと考えている。今後とも、関係各位のご指導、ご支援をお願いしたい。

最後に、ウルトラクリーンルームの設置に当たっては、東北大学の犬見忠弘教授が長年にわたり築いてこられたウルトラクリーンテクノロジーのすべてを投入して下された。ここに、心より感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 森勇蔵, 津和秀夫, 杉山和久: EEMの基礎研究(第1報)一極微小量弾性破壊の概念とその可能性一, 精密機械, 43(1977) 542.
- 2) H. Tsuwa, N. Ikawa, Y. Mori and K. Sugiyama: Numerically Controlled Elastic Emission Machining, Annals of the CIRP, 28(1979) 193.
- 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(1980) 1537.
- 4) Y. Mori, K. Yamauchi and K. Endo: Elastic Emission Machining, Precision Engineering, 9(1987) 123.
- 5) 森勇蔵, 山内和人, 遠藤勝義: 極限精密加工技術, 精密工学会誌, 57(1991) 36.
- 6) Y. Mori, K. Yamamura, K. Yamauchi, K. Yoshii, T. Kataoka, K. Endo, K. Inagaki and H. Kakiuchi: Plasma CVM (Chemical Vaporization Machining): an Ultra Precision Machining Technique Using High-pressure Reactive Plasma, Nanotechnology, 4(1993) 225.
- 7) 山村和也, 森勇蔵: Plasma CVM (Chemical Vaporization Machining)の開発, 生産技術誌, 47(1995) 39.
- 8) Y. Mori, K. Yamamura, K. Yamauchi and Y. Sano: Polishing of Si Wafer by Plasma CVM (Chemical Vaporization Machining), Proc. Japan-China Bilateral Symp. Advanced Manufacturing Engineering, Hayama, 1996 (Japan Society for the Promotion of Science and Chinese Academy of Sciences, Tokyo, 1996) p.65