



MATERIALS and PROCESSING

NO. 26

日本機械学会 機械材料・材料加工部門ニュースレター

機械材料・材料加工のナノテクノロジー



群馬大学工学部
機械システム工学科
早乙女 康典

21世紀への幕開けを直前にした1999年の暮れ、クリントン大統領による、いわゆる「ナノテク宣言」が行われて早くも4年が経とうとしている。我が国でもまず2001年に科学技術基本計画が制定され、ナノテクノロジー・材料を含む4つの分野に加えて、製造技術分野の重点化がはかられている。たとえば、2001年よりナノマテリアル・プロセス技術プロジェクト(PJ)が、2002年からは材料プロセス革新技術PJなどが開始されている。ナノテクノロジーへの期待は、今から40年ほど前にカリフォルニア工科大学で行われた講演での、“There’s plenty room in the bottom”という、ノーベル賞受賞者であるファイマン博士のことばによく表されている。現在扱っているマイクロメートルオーダーからさらにナノメートルオーダーの領域、原子オーダーの領域では、様々な興味深い現象が起こっており、今までには考えられなかったような革新的な材料やデバイスの出現が期待できる。この領域へ踏み入る方法として、一般に“Bottom UP”の手法と“Top DOWN”の方法が紹介さ

れている。“Bottom UP”の手法は化学の分野でよく用いられている手法で、例えば分子設計で代表される。一方、“Top DOWN”手法の代表は半導体製造分野での微細化技術である。一方、これまでの機械分野では、材料の塊を製造し、これを素材とした除去加工、変形(成形)加工、付加工が行われてきた。しかし上述の材料プロセス革新技術PJでは、材料創製技術と成形・付加工技術とを融合させ、製品になった時点で最適化されるような材料の内部構造および微細精密形状への加工制御技術を確立しようとしている。これにより、情報通信機器、化学チップやバイオチップ、マイクロマシンなどの微小機械要素とその高集積化が実現できる。同様のコンセプトは、機械材料・材料加工部門創設(ニュースレターNo.24、大谷・初代部門長の巻頭言を参照)に始まり、最近の講演会に見られるセッション、研究テーマに結実しつつあり、まさに当部門の出番であるといえる。今後は、これまで馴染んできた“Top DOWN”の手法と、“Bottom UP”の手法との出会いがなにより重要になると思われる。東西文化の交流から新しい文化の展開があったように、異文化との出会いに期待すると同時に、21世紀のもう一つのキーワードであり、インターネットの普及によって一層加速されている知と経済のグローバル化の中で、研究者、技術者の独創性が今こそ求められていることも事実である。情報の海の中で、自らの技術的アイデンティティを基軸とした技術開発を外に向かって展開していくところに、当部門の一層の活性化と発展があるものと期待している。

ナノ・マイクロ成形加工技術

群馬大学工学部
機械システム工学科
早乙女 康典

ナノテクノロジー時代の主要な量産化技術として、成形加工が見直されている。現在の微細加工技術の代表は半導体製造技術であり、例えばエキシマレーザー光を用いたリソグラフィ技術によって、100nm（ナノメートル）の加工が行われている。これらの技術の究極は電子1個で動作する量子デバイスであり、電子1個が留まることの出来る“孤島”、量子ドットの大きさはおよそ直径1nm程度である。一方、より身近な光学記録メディアであるCD、500枚分が一枚に収まる次々世代CD/DVDにおいてデータを記録する「くぼみ」の寸法は数十nmとされている。これらのナノデバイスの製造方法として注目されているのが形状転写加工法（成形加工法）であり、ナノ・インプリント法と呼ばれている方法である。半導体プロセスにおける膨大な微細加工設備と工程、プロセス技術が不要で、高効率、量産加工が可能であると期待されている。ナノ・マイクロ成形加工の体系としては、材料技術、金型技術、成形加工技術、機械技術、計測技術などがあげられる。そこで、従来のそれらの技術に対して、どのような点が異なり、どのような配慮を行う必要があるのであろうか？以下にはそれらについて、現状と考え方、問題点などについて述べることにする。

材料技術については従来の巨視的変形特性に加えて、ナノ・マイクロメートルオーダーでの変形特性について検討する必要がある。通常の金属材料は多結晶構造であり、結晶粒径はおよそ数十 μm 程度である。結晶構造に基づく異方性と多結晶体での不均一性があり、塑性変形では粒内、粒間で不均一歪みの発生となる。また部材寸法が結晶粒の寸法に近づくにつれて、自由表面および結晶粒界での転位挙動の影響が大きくなる。微細な凹形状への成形では、凹底コーナー部への材料の充満が十分に達成されるか否かが問題である。充満度を上げようとする、降伏応力よりはるかに大きな平均負荷応力が必要とされる。この点からは、低応力下での変形が可能な微細結晶粒超塑性変形を利用した微細成形が期待されるが、その微細加工限界寸法は結晶粒径である。微細結晶粒超塑性の変形機構は結晶粒界すべりと粒の回転であり、基本的に粒状体の力学が適用できるからである。金属、セラミックなどの粉末成形加工における微細成形限界も同様に考えられる。一方、プラスチック材料では、例えばCDの場合、ポリカーボネートの微細成形（射出成形）による量産加工が行われている。CDにおけるデータの「くぼみ」の寸法は約0.8 μm である。こうした微細成形による量産加工が可能になるのは、その変形が粘性流動によるものであり、粘性係数が 10^3Pas 程度（負荷応力 $\sigma=10\text{MPa}$ のときの歪み速度は 10^4s^{-1} ）であること、基本

的に非晶質（アモルファス）構造であることがあげられる。こうした非晶性プラスチックの微視的構造は直径約0.5nm、長さ0.1~1 μm 程度の分子鎖が絡み合った不定形な構造をしている。（他方、機械構造用に用いられるPOMなどのプラスチックでは結晶を含んだ構造になっており、熔融状態から結晶化が生ずる際に大きな体積収縮を伴う。）同様な不定形な構造はセラミックガラスにも見いだされる。また、この十数年の間に、セラミックガラスやプラスチックと同様にガラス遷移挙動を示す非晶質合金が次々と発見されてきた。これらの合金はガラス遷移点以上の温度で過冷却液体状態となり、粘性流動を呈する。非晶質構造であるので、ナノメートル・オーダーでの等方、均質性があり、それゆえ、最も有望なナノ材料のひとつとして、複雑形状部品の一括金型成形加工が期待できる。そこで次には、いかに微細形状金型を作製するかということが問題となる。

金型の加工法としては、切削、研削加工や放電加工が多く用いられている。最近の超精密切削加工機械の進歩はめざましく、たとえば加工範囲220mm、位置決め分解能1nmの機械が実用に供されている。さて、切削加工の微細加工限界は、工具寸法とくに工具先端の曲率半径、切れ刃と接触する被加工材料の微視的構造とその変形、破壊挙動で求められる。例えば微小光学部品の金型の場合には、その表面に非晶質めっきを施し、先端曲率半径の小さなダイヤモンド工具で仕上げ加工を行っている。除去加工にはこうした加工のほかにレーザー加工、電子・イオンビーム加工、エッチング、等々の微細加工技術が適用できる。また付加工として、半導体製造技術としてのスパッターも、上述のめっきと共に微細金型の製作方法として用いられよう。さて、マイクロマシニング技術のひとつとしてドイツで開発されたLIGAプロセスを例にして、別の観点から金型創製法を見てみると、LIGAプロセスはまず仮想空間（コンピュータ）から実空間への微細形状の転写プロセスから始まる。電子ビーム描画によるレジスト膜の露光、現像により数nm程度の分解能で微細形状が得られる。これをフォトマスクとしてPMMAなどの厚膜レジストに転写すると、2.5次元または特定の3次元形状の構造体ができあがる。しかしレジスト自体は金型の強度部材ではないので、これに電鍍（電気めっき）を施すと反転された微細形状と実材料としての構造型が与えられる。すなわち、形状付与プロセスと材料創製プロセスとが同時に進行するプロセスといえる。電鍍による材料創製では、非晶質構造からナノ~マイクロサイズの結晶粒構造を調製することが出来ることから、新しい部材化技術として期待される。

ナノ・マイクロ成形加工技術の現状としては、ICリードフレーム（70 μm ）の加工やインクジェットプリンターのノズル（20 μm ）などの塑性加工が量産技術として行われている。せん断加工における工具間の隙間、材料と工具の相対運動機構、工具のフレットング疲労など、 μm 以下の加工では一層難しくなることが予想される。プラスチックの成形加工では、DNA分析用のキャピラリーなどが量産され

ているほか、化学合成・分析用チップ(μ TAS)の開発に用いられている。これらの粘性流動加工の場合には、金型と材料の寸法が小さくなるにつれて、材料の表面張力や金型表面との接触挙動(濡れ性)、摩擦挙動が支配的となり、低レイノルズ流れとなることから、加工中の粘性係数の制御技術も重要である。またこれに伴う熱膨張の問題が大きくなる。例えば、CD用金型では、温度が1度変化する毎に外周では、数百nmの熱膨張が生ずる。これは前述の次々世代CD/DVDのトラック幅の数倍の寸法に相当する。さらに、微細形状転写性の良い材料ほど金型と材料のなじみ性がよく、金型表面の僅かな凹凸によっても金型からの離型が難しくなる。

加工機械に関しては、卓上で材料供給から加工、組立、性能試験に至るまで柔軟な生産システムを構築することができる「マイクロファクトリー」構想が実現されようとしている。このマイクロファクトリー概念は、先のマイクロマシン・国家プロジェクトにはじまり、世界的な広がりを見せている。これらの機械によっては、省エネルギーがはかれると同時に、構成部材としてセラミックなどを用いることにより、温度や剛性の問題が克服されることも期待される。

以上のように、ナノ・マイクロ加工では、様々な新しい視点と柔軟なアプローチが必要であることがわかる。将来の新しい産業として期待され、国家プロジェクトとして世界中で開発研究が行われているが、具体的なマーケットまでには届いていないのが現状である。それだからこそ、現象の基本に立ち帰り、原理の把握とシミュレーションによる予測が行えるようにすることも益々重要になると考えられる。

放射光による高アスペクト比加工

姫路工業大学
高度産業科学技術研究所
服部 正

1. まえがき

現在マイクロセンサ、マイクロアクチュエータの微小な機能部品から構成され、複雑で高度な動きをするマイクロマシン、マイクロシステムの研究開発が行われている。その構成要素であるマイクロセンサ、マイクロアクチュエータなどのデバイスもこれまで数々開発・提案されている。しかしながら、マイクロセンサが種々の産業分野に応用展開しているのに対し、マイクロアクチュエータ等のマイクロデバイスはまだ広がりが少ないのが現状である。そのひとつの大きな原因はその製造技術が確立されていないためといわれている。マイクロセンサの加工には平面的な加工技術である確立された半導体加工技術を用いることが可能である。一方、マイクロアクチュエータなどには超微細3次元構造の加工技術が必要である。しかしながら、現在こ

の超微細3次元構造加工技術は確立していない。

超微細3次元構造加工技術の基本となるのが高アスペクト比加工技術である。この高アスペクト比構造の加工技術には、半導体加工技術によるシリコンプロセス、放射光を用いたLIGA(リソグラフィー Lithographie, 電鍍 Galvanoformung, 成形 Abformungのドイツ語頭文字からの略語)プロセスがよく用いられている。また最近ではSU-8(商品名, Microlithography Chemical Corp社製)と呼ばれる厚膜レジストが開発され、半導体加工で用いられる紫外線リソグラフィーによっても高アスペクト比加工が可能となってきた。このプロセスは放射光によるLIGAプロセスに対してLIGAライクプロセスと呼ばれている。それぞれ一長一短あるが、パターン加工精度、転写精度やプロセスの再現性の点においては、放射光によるLIGAプロセスが依然として大きな優位性を持っている。

今回、ここでは放射光による高アスペクト比加工技術であるLIGAプロセスの現状とその将来展開について述べる。

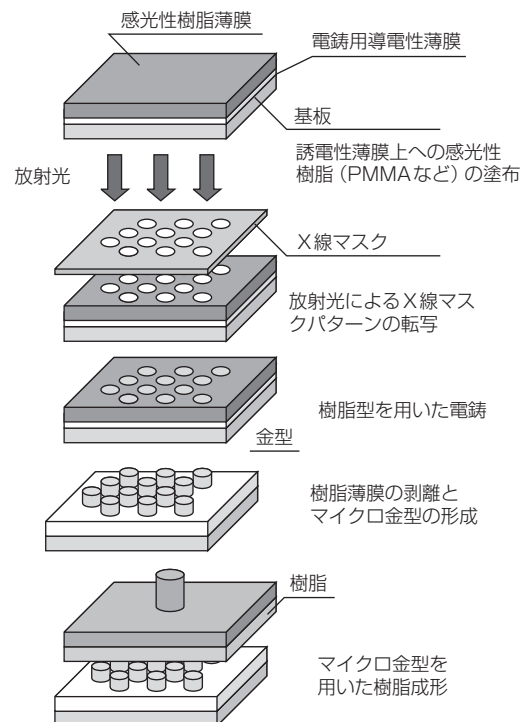


図1 LIGA プロセス

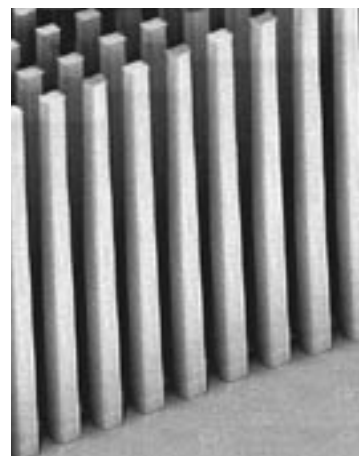


写真1

2. 放射光による LIGA プロセス

LIGA プロセスとは図1に示すように放射光を用いた X 線ディープリソグラフィによる微細パターン形成、電鍍による金型作製、および金型による精密成形を組み合わせた加工技術¹⁾である。半導体回路パターンの X 線等倍リソグラフィ (1.5 ~ 2.5 KeV) より高いエネルギー領域 (4.0 KeV 以上) の軟 X 線の透過性と高い指向性をもつ放射光の特性を利用した X 線ディープリソグラフィによって、最小寸法サブ μm (現在 $0.2 \mu\text{m}$)、最大高さ 3mm という高アスペクト比を有する構造体の作製が可能である。また他プロセスに類を見ない LIGA プロセスの大きな特徴として、構造体側壁の表面粗さが数十 nm オーダーという鏡面状態であることが挙げられる。姫路工業大学放射光施設「ニューズバル」で作られたレジスト加工例を写真1に示す。

LIGA プロセスは、1960年代後半のドイツのカーlsruエ原子核研究所 (KfK) の Ehrfeld らによるウラン濃縮用としてのセパレーションノズルの開発が発端である。その後ドイツを中心にアメリカ、フランス、イタリア、中国、韓国、台湾など、世界各国で LIGA 研究が行われている。一方、日本では、姫路工業大学を始め、立命館大学、姫路工業大学、住友電工 (株)、住友重機械工業 (株) などを中心となって、研究開発が行われている。

世界の放射光 LIGA の研究開発対象は以下の 3 項目に絞られると言って良い²⁾。

- ① 高エネルギー (1.5 GeV 以上) の蓄積リングによる X 線を用い、より高アスペクト比の構造体を作製するための研究
- ② 任意の 3 次元マイクロ構造体を実現するための研究^{3,4)}
- ③ リソグラフィ以降の電鍍、成形プロセスの高度化と実用プロセスの開発^{5,6)}

LIGA プロセスは放射光という特殊な光源を利用するため、コスト面での課題が多く実用化の大きな壁となっている。また世界の LIGA プロセス研究が上記①に集中し、実際のデバイス開発に必要なリソグラフィ以降の電鍍、成形プロセスの高度化と実用プロセスの開発が遅れているこ

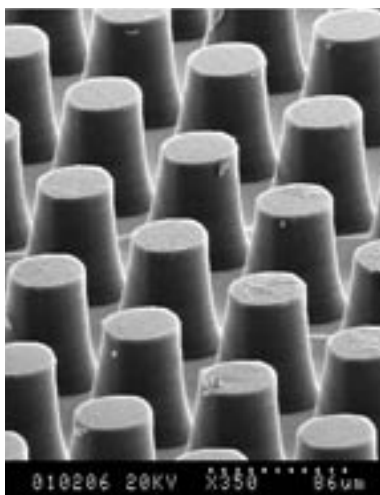


写真 2

とも量産化に結び付かない原因であり、これこそが実用化の大きな壁となっている。

いわゆるアスペクト比の高い 2.5 次元と呼ばれる直方体の加工は放射光の特徴から非常に良好に加工できるが、最近では任意の 3 次元マイクロ構造体を加工の要求が多くある。この任意 3 次元マイクロ構造体の加工方法はいくつか提案されているが、大まかに分けると、以下の 3 つの方法が行われている。

- ① X 線マスクを立体的に走査させながら露光を行い、走査スピードや露光時間の制御を行い、レジストパターン上に擬似的に蓄積露光量の 3 次元分布を形成する方法³⁾。
- ② ビームを絞る、露光ステージを立体的に走査・回転させることで直接描画的に露光する X 線造形方法。
- ③ 収体の厚みに 2 次元分布を持つ X 線マスクを用い、X 線の吸収の違いを用いてレジストパターン上に蓄積露光量の 3 次元分布を形成する方法⁷⁾。

①の方法は現在最も広く用いられている方法である。マイクロレンズアレーのように得られる立体形状が同一パターン形状のデバイスには向いた方法である。②は放射光のようにエネルギーの高い場合ビームを絞ることが困難であり、数 μm といった微細なパターン形成にはまだ到っていない。一方③の手法はスループットが高く、立体構造の任意性が高い等の特徴を有しているが、いかに吸収体厚みに 2 次元分布を持つ X 線マスクを作製するかが技術的ポイントである。この③の手法により作成した立体構造体の作製例、写真 2 は直径 $50 \mu\text{m}$ の傾斜面のついた円錐形のレジスト構造体⁷⁾となっている。これは X 線マスクの吸収体の材質に Au を使用し、厚みを $0 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲で制御されている。

3. 実際のマイクロデバイスへの適用

我々は、LIGA による X 線ディープリソグラフィ工程と共に、電鍍や樹脂成形プロセスの開発も同時に進め、既に Ni 電鍍金型、ホットエンボッシングや精密射出成形装置を用いたマイクロ樹脂成形体の試作を行った。さらに具体的なマイクロデバイスに適用し、ブロードバンド対応の光スイッチや、光学デバイス、マイクロ流体チップ等の各種 IT、バイオ関連産業の各種マイクロデバイスに適用した。一例として、試作したマイクロ立体コイルを写真 3 に示す。導線間のピッチは $10 \mu\text{m}$ である。このように従来の LIGA プロセスでは不得手であった円筒状の微細構造体も可能となった。

進工業株式会社 写真提供

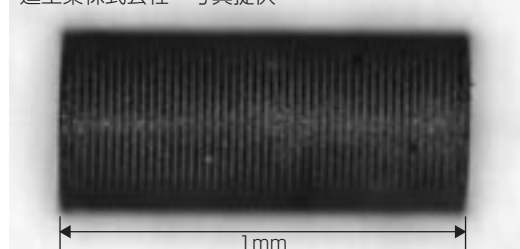


写真 3

4. まとめ

代表的な高アスペクト比加工について述べてきた。いずれも今後のマイクロシステムには必要不可欠の技術であり、更なる技術向上が重要である。リソグラフィ技術は上述したように、現段階においてもそれぞれの特徴を生かしたデバイスに適用できるプロセスとなっている。一方実用化の鍵となるのは金型を用いた成形技術と思われる。今後この技術開発の進展に期待される。

引用文献

- 1) W.Becker, et al., Microelectronic Engineering, 4, 35-56 (1986)
- 2) 服部正, 溶接学会誌, 71 (3), 135-144 (2002)
- 3) Tabata, et al., IEEE MEMS2002, 180-183 (2002)
- 4) T.Hattori, et al., REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, 73 (3), 1376-1378 (2002)
- 5) T.Yamada, et al., JMSE/AMSE Int. M & P 2002, 597-600 (2002)
- 6) Y.Utsumi, et al., JJAP Int. MNC 2002, 176-177 (2002)
- 7) H.Mekaru, et al., JJAP Int. MNC 2002, 108-109 (2002)

超塑性材料の粒界塑性

大阪府立大学大学院
工学研究科物質系専攻材料工学分野
東 健司

1. はじめに

超塑性材料とは、「水飴のような変形流動を示す材料」と表現する事ができる。この水飴のような超塑性状態は、内的因子である材料の微細均一組織(平均結晶粒径が $10\mu\text{m}$ 以下)の微視的制御と、外的因子である温度(融点の半分以上の高温)と変形(ひずみ)速度などの力学条件が適切に与えられた場合に発現する。その代表的な特徴は、大きな均一伸び(300%以上)と低い変形流動応力(10MPa以下)、大きなひずみ速度感受性($m > 0.3$ 以上、 m :ひずみ速度感受性指数)などである。超塑性は、通常では加工できない金属基材料(ニッケル合金、マグネシウム合金など)や、セラミックス、金属間化合物、複合材料などの難加工材など、多くの材料において認められており、その特徴を活かして、複雑形状品のガス圧ブロー成形や超塑性鍛造が行なわれている。また、超塑性が発現するひずみ速度および温度は明らかに粒径依存性を示すので、結晶粒微細化により「高速超塑性」および「低温超塑性」が発現する。ここで、「高速超塑性」は 10^2s^{-1} 以上のひずみ速度域で発現する超塑性と定義され、また融点の半分以下の低温域で発現する超塑性を「低温超塑性」と呼んでいる。高速超塑性と低温超塑性を利用する事で、商業的操業における成形加工時間の実質的な短縮が達成できる。特に、高速超塑性成形の生産速度は約1秒以内であり、通常の工業的生産速度に匹敵し、その工業

的利点は非常に大きい。

高速超塑性や低温超塑性を得るためには非常に小さな粒径($1\mu\text{m}$ オーダー以下)を必要とする。現在までに、様々な革新的材料プロセスが検討され、約 $0.1\mu\text{m}$ (100nm)程度或いはそれ以下のナノ結晶粒を持つナノ超塑性材料が創成されている。最近では、高速超塑性と低温超塑性が同時に発現するナノ超塑性材料が創成されている。また一部の材料では、結晶粒径のナノ化に起因して、室温においても高速超塑性が観察されているが、その微細化プロセスの十分なメカニクス解明までは至っていない。更なる結晶粒の超微細化を達成するためには従来の経験則のみに頼った材料プロセスから脱却する微細化メカニクス解明と物理的知識をベースとした材料プロセスの新規構築が要請されている。また、ナノ超塑性材料の組織制御の最適化および新規のナノ力学関係の記述式が不可欠であるが、ナノ超塑性材料の特徴である高い粒界占有率に起因して、粒界或いはその近傍の局所的領域での組織制御とメカニクス構築が必要である。従って、ナノ超塑性材料の組織制御と工業材料的応用を達成するためには、粒界を構成する原子の振る舞いやその力学的相互作用を理解する新しい学問領域「粒界塑性」の創成が不可欠である。

2. 「超塑性」から「粒界塑性」への新展開

多くの場合、新現象の発見は、過去の研究成果から演繹的に導かれるものである。さらに、超塑性に関する研究分野の将来性は、新現象或いは将来の工学的応用などのような魅力的な話題が着実に見出す事が出来るかどうかによって依存している。従来の超塑性研究は超塑性状態の材料の応力-ひずみ速度関係を巨視的かつ現象論的に解析する事により行われてきた。現在、このアプローチの持つ限界を打ち破る有効な方法は粒界の原子レベルからの総合的な認識或いは体系的解析、即ち学問領域「粒界塑性」の構築であると考えられている。現在では、超塑性変形の主機構が粒界すべりである事は周知の事実である。他方、粒界すべりの原子レベルでの認識は、研究者により様々な解釈がなされ、多種多様である。しかしながら、超塑性研究の更なる発展のためには、粒界の原子レベルでの認識或いは解析が不可欠である。現象論的な粒界すべり機構を原子論的メカニズムとして明確に把握する事は、専門分野の異なる研究者が超塑性現象の根源的課題に物理的共通視点を持つ事であり、超塑性の更なる新現象の発見などのプレイクルーが期待できる。結晶塑性理論を展開した従来の組織制御法や超塑性成形の加工技術は、粒内を構成する原子群の格子欠陥や拡散挙動に注目して実施されてきた。ナノ超塑性材料の組織制御や塑性加工の場合には、局所的な粒界構成原子の立ち振る舞いに注目する必要がある。その手法として、①高分解能電子顕微鏡などの先端分析装置による原子レベルでの粒界の観察、および②第一原理計算による粒界構造解析とナノメカニクスの構築がある。こうした粒界の原子レベルでの観察・解析は、種々の温度での応力-ひずみ関係

に基づいた従来の現象論的解析の限界を打ち破る学問領域「粒界塑性」の主要な研究のひとつである。

3. 粒界塑性の原子論的メカニクスの観察・解析

セラミックスは、強固な共有結合とその顕著な結合方位性の局在性に起因して、高いパイエルズ応力を示す。それ故、セラミックスの超塑性変形では、金属材料の場合と比較して、転位の運動や拡散流動は粒界すべりの附随調整機構(Accommodation)に充分貢献できないと予想される。超塑性セラミックスにおいては、液相やガラス(非晶質)相を含めた結晶粒界・界面の微細構造の原子レベルからの詳細な把握が重要である。それは、セラミックスの拡散に関するデータが非常に限られており、実験により算出された活性化エネルギーの値から超塑性流動の調整機構を明らかにする事ができないからである。最近、原子レベルからの粒界構造の分析の有効性は、種々のガラスをドーブした部分安定化ジルコニア(TZP)の粒界を対象としたより綿密な構造解析において実証されている。この結果より、附随調整機構の素過程はドーブされたガラス相の粘性に依存しており、その延性は、高温塑性流動中の固相-固相粒界に沿って形成された空洞や亀裂の成長にたいする抵抗力に依存する事が指摘された。また、その伸び値は粒界での陽イオンの析出に非常に敏感であり、例えば、高温での破断伸び値は、粒界への Si^{4+} の偏析により大きく増加するが、 Mg^{2+} や Al^{3+} のような陽イオンが複合偏析する場合は逆に低下する事などが報告されている。

高分解能原子顕微鏡を使った粒界すべりの直接観察は、原子レベルでの粒界すべりの全体像を理解するのに有効である。最近、金の $[110]\Sigma=11$ 傾角粒界のナノサイズでの粒界すべりの「原子論的メカニクス」の観察がピエゾ型試料ホルダー付きの高分解能電子顕微鏡を使って行われた。この原子レベルでの粒界すべりの観察結果より、粒界すべりの原子面での素過程は、(1) 粒界面に平行なすべり、(2) 粒界面に垂直な粒界移動、(3) 粒界面の方位変化、(4) 粒界近傍での結晶粒の回転、の主要な4素過程から構成されている事が明らかにされた。一般的に、粒界すべりは粒界の構造や粒界近傍の粒界構成原子の化学的成分に依存する。特に、ガラス相を含む微細粒セラミックスの変形挙動がガラス相の変形(粘性)挙動に依存する事は一般的によく知られた事実である。しかしながら、粒界のガラス相の変形挙動は直接或いは原子レベルで観察された事はなかった。最近、 SiO_2 ガラス相を含むシリコンにおける原子レベルでの粒界すべりの素過程が高分解能電子顕微鏡を使って直接観察された。この結果より、ガラス相の厚みの減少に伴ってガラス相の示す剪断応力が減少する事、即ち、粒界すべりにより誘起される応力集中は、粒界に存在するガラス相の粘性変形によって緩和される事などが明らかにされた。

4. 粒界塑性の第一原理計算

粒界構造の原子・電子論的解析の手法のひとつとして、第一原理計算によるアプローチが最近注目されている。その中で、超塑性変形機構である粒界すべりの機構解明を目的とした粒界すべりモデルの第一原理計算が報告されている。Alの $\Sigma=11$ 傾角粒界の粒界すべりの第一原理計算結果では、粒界構成原子の粒界すべりに伴う粒界エネルギーの変化、および任意のすべり変形量における原子モデルとその結合電子密度の変化が解析されている。特定の変形量(32%)では、粒界を跨いで電子の移動が認められ、その後の僅かな変形後(34%)にはこの現象に引き続き粒界移動が起こる事が確認されている。さらに、粒界構成原子の粒界すべりに伴う粒界エネルギーの急激な低下はこの粒界移動に起因している事が明らかにされている。既に、前章で述べたように、粒界すべりの素過程において粒界移動を伴う事が電子顕微鏡にて観察されている。この計算結果は、この電子顕微鏡で観察された粒界すべりに伴う粒界移動と同じであり、粒界移動が粒界を跨いで起こる電子移動によるものである事が理解できる。また、粒界すべりに伴う粒界エネルギーの変化やその周期性より、粒界すべりに及ぼす粒界構造や粒界性格、あるいは粒界性格分布などの影響を考察する事が可能である。第一原理計算によるこうした研究が体系的・統計的に実施されれば、粒界すべりの結合論的解釈が明確になり、新学問領域「粒界塑性」の構築に貢献できるものと期待される。

5. まとめ

超塑性或いは高温変形に関する研究における原子論的解析の重要性を実証する研究例は現状では非常に限られている。将来、このようなタイプの研究はセラミックスや複合材料を含む金属系ナノ材料における超塑性変形中の粒界すべり或いは高温変形における粒界破壊の原子論的メカニクスを明らかにするのに有効な方法になると筆者は信じている。

(参考文献は紙面の都合で省略します)

微小な粒子の3次元アセンブル技術

物質・材料研究機構

材料研究所

今野 武志

1. はじめに

われわれの研究グループでは、10年以上前から粒子アセンブル研究を行っている。粒子アセンブルは、粒子を自在に集積し、新しい機能材料・デバイスを作り出そうというもので、ナノ粒子でなく主としてマイクロ粒子を対象としている。ここでは筆者が携わっている大気中でのプローブによる粒子操作技術を中心に、粒子アセンブル技術について述べる。

2. 粒子アセンブル技術

図1は粒子アセンブルの考えを示したものであるが、粒子アセンブルでは粒子を物理的に集積することにより、粒子のもつ機能を集積する。すなわち異なる種類の粒子の機能をうまく協調的に発現させることを目指している。このためには、異なる種類の粒子を規則的に並べたり、積層したりすることが重要であり、そのような技術を粒子アセンブル技術と呼んで、その開発に取り組んできた。

われわれが開発した粒子アセンブル技術は、静電気力を利用して粒子の表面に粒子を並べる方法、すなわち粒子複合化技術、電子ビームやイオンビームを使い大量の粒子を一度に並べるビームによる粒子配列技術、プローブを利用して1つずつ粒子を持ち運んで並べるプローブによる粒子操作技術などである。

プローブを利用した粒子の操作技術は、SEM中で行うものと、大気中で行うものがあり、前者はサブミクロンの粒子を対象とする。後者は数十 μm 以上の粒子を対象としており、次項において詳細を紹介する。

3. プローブによる大気中粒子操作

プローブを用いて数十 μm -数百 μm の金属粒子を1粒ずつ静電気力により操作し、高電圧のパルス放電を利用した熔融接合を行う。この粒子操作と接合を繰り返しながら3次元微小構造体を作製する技術と装置を開発した。図2は開発した装置の基本構成を示した模式図である。分解能1 μm 以下の精密な位置精度を有した移動系、作業領域を確保できるように焦点距離が大きくて高倍率となる実体顕微鏡、吸着のための静電気力の発生および接合のための放電に必要な電圧を供給できる電源から構成される。作業者は、プローブ先端周辺を2方向から観察した画像を拡大・表示したモニターを見ながらアセンブル作業を行う。

先端を尖らせたプローブは高剛性で高融点金属であるタングステンを用いる。このプローブを金属基板表面に対して垂直に固定し、粒子を捕捉する際には吸着治具として、また接合する際には溶接用電極として利用する。

図3、図4はAu基板表面に直径40 μm のAu粒子を積み重ねた構造体例で、図3は旧金材技研の頭文字である

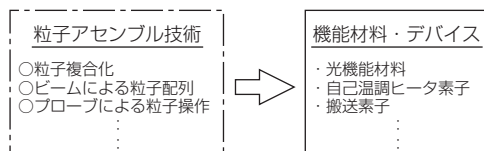


図1 粒子アセンブル技術による材料・デバイスの作製

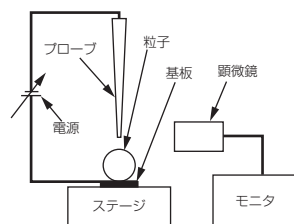


図2 装置の模式図

NRIMの文字、図4は5段のピラミッドである。微小な粒子を積み上げる作業は粒子1個ずつ行うため、1つの粒子を捕捉してから接合するまでに数分間を要するが、各粒子を確実に任意の位置に配置することができる。『NRIM』は各文字が基板表面に垂直に自立した構造体である。一方、ピラミッド構造体の第1層の粒子は10 μm 以下の間隔で精密に配置されており、粒子と基板間には強固な接合面が観察され、その接合部直径は最大で10 μm 以上となっている。第2層以降の粒子は下層にある4個の粒子で囲まれた中心部に配置・接合できた。

4. おわりに

われわれは、粒子を自在に集積し、新しい機能材料・デバイスを作り出すために粒子アセンブル研究に従事している。その中の1つの手法であるプローブによる大気中粒子操作では、数十 μm -数百 μm の金属粒子をプローブ先端に1粒ずつ静電気力により捕捉し、高電圧のパルス放電を利用した熔融接合を繰り返しながら微小な粒子を積み重ねることができた。この方法は思い通りの形状に構造体を作製できるため、精密に配列・集積化された材料やデバイス等の作製に有効な手法として利用できると考えられる。

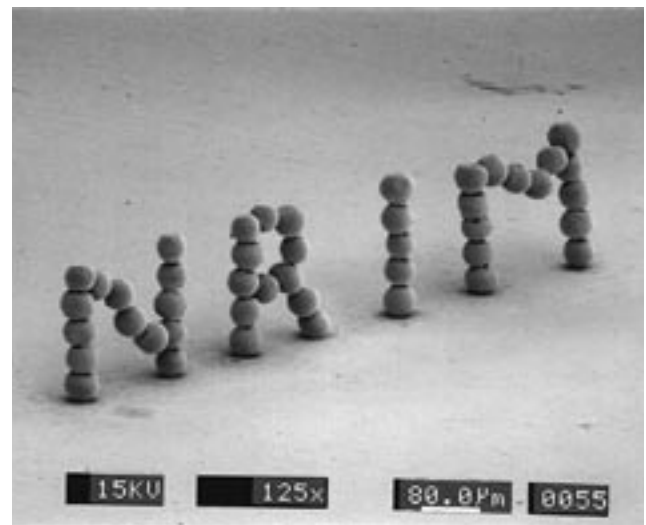


図3 NRIM文字列

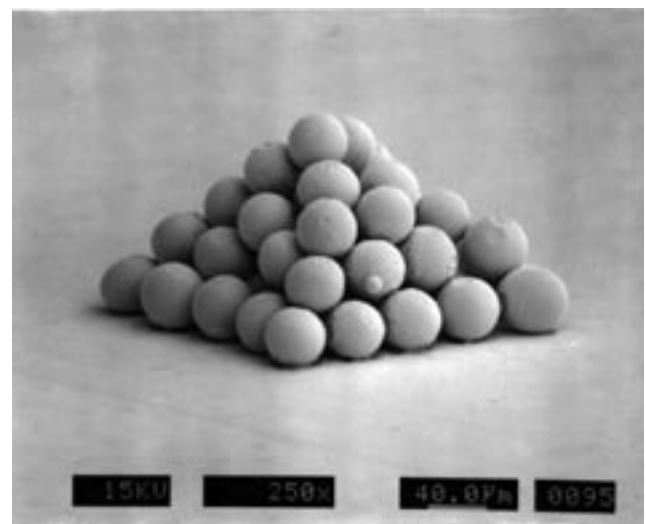


図4 Auピラミッド構造体

部門所属「分科会・研究会」活動報告・新設のご案内

第5 技術委員会委員長

福本 昌宏(豊橋技術科学大学)

[活動報告]

「マグネシウム合金の加工技術研究分科会(Ⅱ)」

主査 : 松岡信一(富山県立大学)

E-mail : matsuo@pu-toyama.ac.jp

昨年末に終了した同分科会を継続し、「マグネシウム合金の加工技術研究分科会(Ⅱ)」として平成15年1月から活動している。定例の研究会は年3回開催し、また11月に技術フォーラムを企画している。それぞれの日程等は、次の通りである。

第1回研究会(平成15年4月11日, 三協アルミ(株)東京本社)

第2回研究会(平成15年9月1日, 学会・会議室)

第3回研究会(平成15年12月5日, 未定)

技術フォーラム(平成15年11月28日, 富山県立大学)

定例の研究会は、マグネシウム合金の諸加工に伴う種々の課題について、多くの分野から事例報告や研究報告を行い、和やかな雰囲気下で情報交換を行っている。また、技術フォーラム(会告106-1018)は、省資源・省エネルギーを含む環境調和型の成形加工技術の中で、特に注目される加工技術とその材料特性について事例紹介する。興味のある方あるいは関係する方々のご参加をお勧めします。

[航空宇宙材料研究会]

主査 : 藤本浩司(東京大学)

E-mail : tfjmt@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

本研究会は、開発/製造/加工/特性評価/応用等いろいろな立場から航空宇宙用材料に関わっている研究者を対象に、航空宇宙用材料一般の最近の動向を紹介し合う場として機能しております。年数回、見学会や研修会を開催することにより、航空宇宙用材料に関する情報を交換し合って理解を深め、互いの問題点を把握するとともに、会員相互の親睦を深めております。今年度も日本航空宇宙学会材料部門との共催で、9月22～23日に浜名湖畔の商工会議所研修センターにて合宿形式の第6回航空宇宙材料シンポジウムおよび研修会を開催する予定です。

[締結・接合部のプロセスと信頼性評価研究会]

主査 : 服部敏雄(日立製作所)

E-mail : hatto@merl.hitachi.co.jp

ほとんどの機械、製品はその生産性、メンテナンス性などから、多くの継手部(締結・接合・接着)を有している。そしてこれらの機械・製品の強度・信頼性上のトラブルの多くは、これら継手部で生じる。しかし継手部での力の流れは複雑、かつ接触条件など関連因子が多く、応力解析・

強度評価が困難である。さらに、継手部の生産技術に起因するばらつき、表面科学・材料科学的検討、すなわちプロセス的取扱いが、従来からの経験に頼り過ぎてきたことが問題点として挙げられる。本研究会では、締結・接合部の信頼性評価法や等価挙動を力学、プロセス両者の相互作用も含めて検討する。現在、企業、研究所および大学関係者等を含めて委員数約25名、年3回程度の予定で研究会を開催している。これまでに、2回研究会を行い、接合・締結に関する基礎的な問題や先端技術を、その分野の専門家の先生方にご講演いただき、上述のように、プロセスと強度評価の両側面より捕らえるべく、活発な討論を行った。また、年次大会やM&P講演会においてOSを企画し、この分野に関する研究発表および討論を行っている。

[新設のご案内]

「ナノ・マイクロP/M プロセシング技術研究分科会」

主査 : 三浦秀士(熊本大学)

E-mail : miura@alpha.msre.kumamoto-u.ac.jp

粉末冶金(Powder Metallurgy:以下P/Mと略記する)は、焼結(金属やセラミックスなどの粉末から特異な性質を引き出すために高温(融点以下の温度)にて粒子同士を接合するもので、成分系によっては液相を介する焼結もある)という現象を利用した金属加工法であり、高度工業社会における素材や製品の成形加工法の1つとして重要な役割を果たしています。

P/Mの最大の魅力は粉末を成形・焼結することによって直接最終製品形状に成形(ネットシェイプあるいはニアネットシェイプ)できることであり、材料特性、組成、熱処理および微細組織においてかなりの自由度を持っていることから、溶製法では発現し得ない特性が得られるとともに経済的に量産できることも利点です。このような特徴を有するP/M法により、ギヤやベアリング、コネクティングロット(自動車用)などの各種機械構造用部品をはじめとして、超硬チップや金型などの切削・耐摩耗工具材料、WやMoなどの高融点金属材料、フィルターや生体用インプラントなどの多孔質材料、電気回路開閉器やパンタグラフすり板などの電気接点・集電材料、磁性コアやセンサーリングなどの磁性材料が生産されています。

従来より、高密度で高性能なネットシェイプあるいはニアネットシェイプでのP/M製品を目指して、粉末の製造から成形、焼結、後加工に至る各プロセスの改良や新しい技術の開発が行われていますが、とりわけ最近のP/M技術は他の素形材加工技術との境界領域における加工や複合加工技術が多く見受けられるようです。例えば、粉末鍛造法はP/Mと鍛造、粉末射出成形法はP/Mとプラスチック成形、スプレーフォーミング(噴霧成形)法はP/Mと鍛造や溶射を組み合わせたもので、このような新しい技術に関する知識や応用分野などを知っておくことは、これからの新材料や新製品の製造・開発にとっても大いに参考になるものと思われれます。

なかでも、日本のこれからの科学技術の進展のための重要分野として、ライフサイエンス、IT、環境および材料・ナノテクノロジーの4つが挙げられています。P/Mにおいてもナノテクノロジーに関与した技術（ナノ粉末の製造から、マイクロサイズの製品製造まで）が着実に開発されつつあることから、本分科会ではナノ・マイクロに関連する各種P/M技術の研究と情報の交流を産学官に渡って行うとともに会員の親睦も計るものとして、本年8月に部門運営会議にて設置承認されたもので、皆様方の積極的なご参加をお待ちしております。もちろん、P/Mに関与しておられなくても興味ある方のご参加も歓迎致します。

「PD (Particle Deposition) プロセス研究会」

主査：福本昌宏(豊橋技術科学大学)

E-mail: fukumoto@tutpse.tut.ac.jp

熱プラズマや高速ガスフレーム中に数十ミクロンサイズの粉末粒子を供給し、加熱加速した粒子の堆積により厚膜を形成する「溶射プロセス」には、耐熱、耐食等の皮膜創製の中心的存在として、その成熟化が求められている。本研究会の目的の一つは、かかる既存溶射プロセスの成熟化を目指し、プロセス解析ひいては制御化への指針確立に向けた研究交流にある。

一方近年、当該成膜プロセス分野における新たな潮流として、超高速性の付与により、ほとんど加熱することなく粒子を堆積させる種々の新奇プロセスの台頭が著しい。Cold Spray法やAero-Sol Deposition法である。本研究会のもう一つの目的は、これら新奇プロセスにおける成膜原理の把握解明、プロセス解析等の情報交流を行い、さらに、これら新旧プロセス総体としての、粒子積層による成膜プロセス：PD (Particle Deposition) 法の基盤構築ならびに発展拡大の可能性を追究する点にある。

現構成員は21名であるが、興味をお持ちの方は上記に連絡されたい。第一回研究会を、平成15年9月19、20日に東北大学にて開催した。次回は平成16年5月13日頃の開催を予定している。

機械学会と産学連携に思う -第8技術委員会の活動-

第8技術委員会委員長

西山 勝廣

(諏訪東京理科大学/東京理科大学総研)

現在多くの大学が産学連携の一つとしてTLO(技術移転のための組織)企業を持ち始めているが、大半のTLOがその目的を十分に達成している状況にはないと思われる。その原因の一つに大学と企業の双方を十分に理解したライセンスアソシエーターが極端に少ないことが挙げられる。アメリカではMOT(経営と技術の専門家を育てる組織)がこの分野のエキスパートを育てるとともに、この組織を

通じて、産業界と大学の交流が活発に行われている。工学系の大学は産業界からのニーズを正確にとらえて迅速に研究を実施することが求められるが、日本ではそこまでのコンセンサスが得られていないのが現状である。日本における産学連携はアメリカにおける産学連携のスタイルがそのまま日本に適用できるのかは国民性の違いから疑問が残るけれども、学会がその役割の一端を担う可能性は十分に思うように思う。

日本の大企業の技術は中小企業が支えているという言葉を目にするようになって久しいが、中小企業のオヤジさんがドイツのマイスターのような社会的な地位や経済的な地位を獲得できるようになったかという点に関しては残念ながらと言わざるを得ない。日本の大企業においてはややもすれば「技術の革新」という名の下に安易な「技術の使い捨て」が行われているのではという危惧の念をぬぐい去れない。技術にとって大切なのは「技術の熟成」であり、それはドイツのマイスターや日本の中小企業のオヤジさんが持っている共通の感覚である。この「技術の熟成」が優れた日本やドイツの技術を支えている基本であると思う。

機械学会は多岐にわたる産業分野の専門家や研究者が集う組織であるにもかかわらず、最近の会員数の低減に危惧の念を抱いている方が大勢おられる。第8技術委員会では、会員数の増強を念頭において21世紀に活躍できる若い人材の育成と場作りを積極的にまた根気よく行うために学会における産学連携のあり方を模索している。

2003年機械学会年次大会が終了

2003年度年次大会は、2003年8月5日(火)～8日(金)に徳島大学常三島キャンパスで開催されました。機械材料加工部門では下記の企画を開催し、成功裡に終了することができました。

●部門単独オーガナイズドセッション

- ①粉末の形成と材料評価
- ②金型フリーによる複雑3次元部品の製造
- ③多機能化へのマイクロ～マクロ強調型材料・デバイス開発
- ④機械材料・材料加工部門一般講演

機械材料・材料加工部門一般講演

●部門横断オーガナイズドセッション

- ①知的材料・構造システム
- ②接触・接着界面の力学と強度評価
- ③表面材質の特性

●基調講演

粉末からつくる新材料

●先端技術フォーラム

知的材料・構造システム最前線

●ワークショップ

知的材料・構造システム研究開発の今後の展開

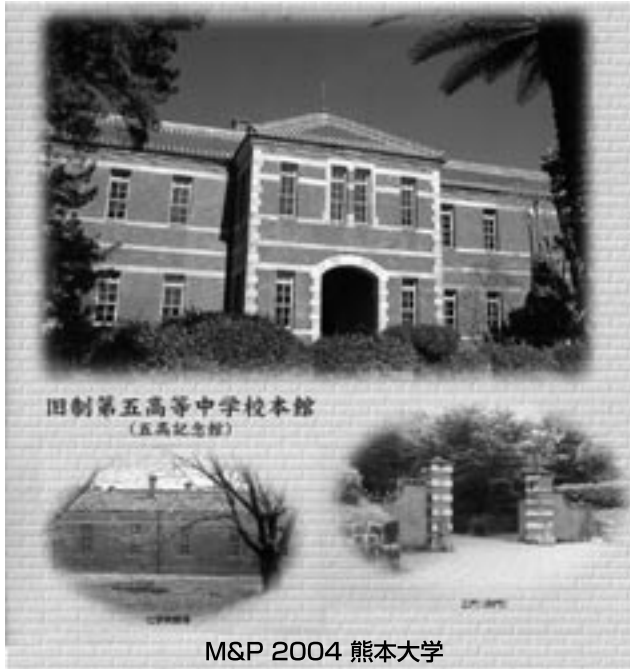
第12回 機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2004)開催のお知らせ

日時：平成16年10月31日(金)～11月1日(土)

場所：熊本大学工学部2号館

〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1

詳細は次号で御案内致します。



機械材料・材料加工部門 「部門賞・一般表彰」公募のお知らせ

機械材料・材料加工部門では、第81期部門賞および部門表彰候補を下記の要領で公募します。自薦他薦を問わず奮ってご応募下さい。

- ※公募締切：平成15年12月19日(金)厳守
- ※推薦書類：日本機械学会・各賞推薦書に準じます。
(学会(担当;宮原)から取り寄せてください)
- ※被推薦者資格：各賞とも、日本機械学会会員であることが受賞資格になります。
- ※書類提出先：部門長 武藤 陸治
〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603
長岡技術科学大学工学部機械系
TEL：0258-47-9735, FAX：0258-47-9770

推薦された候補者は第3技術委員会で審議され、部門運営委員会で決定します。結果は、今年度中に本人に連絡し、次期(平成16年度)のニュースレターに掲載します。

受賞者は、M & P2004講演会時に表彰する予定です。

※各賞の概要

(1)功績賞：

機械材料・材料加工分野に関する学術、教育、出版、内外の交流など諸般の活動において、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。

(2)業績賞：

機械材料・材料加工分野に関する研究または技術開発において顕著な業績のあった者に授与する。

(3)部門表彰(優秀講演論文部門)：

当該年度の開催された本部門企画、担当、主催または共催の講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、学術・技術の進歩発展に寄与したと認められる論文の著者に授与する。

(4)部門表彰(新技術開発部門)：

機械材料・材料加工分野において本部門企画、担当、主催または共催の集会、出版物等において発表された新技術、新製品の開発者で、特に工業技術の進歩発展に貢献した者に授与する。

「大谷美術館賞」公募

材料表面の美的評価向上に関する優れた作品及び顕著な業績に対し、大谷美術館賞を授与し、その経緯・努力を顕彰します。掲載依頼がありました。応募締切(平成15年10月15日)が過ぎておりますので、詳細は割愛しました。

広報委員会だより

－電子媒体によるニュースレターの提供－

広報委員会委員長

前川 克廣(茨城大学)

機械材料・材料加工部門においても、会員数が減少しています。とくに、企業技術者の退会が顕著であり、その対応に苦慮しているところです。会員に年会費に見合うだけの学会サービスが提供されているのかがいま問われています。

企業技術者にとっては、学会活動を通していかに質の高い情報をえて、それを企業業績や自身の好奇心の発揚に繋げることができるかが重要と考えられます。このような場を提供するものとして、学術講演会・技術講演会、分科会・研究会等の活動や、学会誌・論文集の発行があります。なかでも、企業技術者相互の交流、学校関係者との交流をいかに活発にするかが当部門の盛衰のカギです。その一環として、平成14年度に第8技術委員会が設立されました。

現在、ニュースレターの発行は春と秋の年2回です。部門の活動状況と最新の関連情報を皆様にお届けするのが使命ですが、いかがでしょうか。また、年2回の発行にかかる費用は約130万円で、そのうち郵送料が半分を占めています。

このような背景のもと、広報委員会では「電子媒体によるニュースレターの提供」を検討しています。発行を電子メールでお知らせしますので、皆様が部門のホームページからPDF版のレターをダウンロードするものです。これによって、発行費用をおさえ、その分を分科会・研究会活動や産学交流の活性化に回すことができます。

ニュースレターの電子媒体化について、皆様からのご意見、コメント等をお待ちしています。NL担当幹事あるいは前川(mae@mechibarakiac.jp)までご連絡ください。

英国バース大学に滞在して

明治大学理工学部機械工学科
村田 良美

本年4月1日から、所属大学の在外研究制度により、英国バース大学に滞在しております。今回幸いにもこの滞に関して短文を書く機会を得ましたので、報告させていただきます。

バース大学は、英国の古都バースにある総合大学です。バース大学、またバースという街は、一般の日本人にとってあまりなじみのないところかもしれません。事実私自身今回の滞在の機会を得るまでその名前を知りませんでした。しかし英国人あるいは英国に興味を持つ外国人にとってこの街はかなり特別のところであると言ってよいでしょう。この件については後述いたします。

バース大学は文系、理工系併せて5学部、総学生数約9,500人のこぢんまりとした総合大学で、バース市街からバスで10分ほど離れた小高い岡の上にあります。英国の大学は、オックスフォード、ケンブリッジを代表とするold university と新興のmodern university に分類できることは良く知られています。その意味から言うと、バース大学は間違いなくもっともmodernな大学といって良いでしょう。なにしろ設立されたのが1966年ですから、まだ40年経っていません。大学キャンパスおよび建物は完全なpurpose-builtで、極めて機能的かつ合理的に開発されています。これは英国の大学としては極めて珍しいことです。従ってキャンパス内はどちらかと言えば最近新設された日本の大学によく似ています。ただしキャンパスのスペースにはゆとりがあり、広大な良く手入れされた芝のグラウンド、整ったスポーツ施設、点在する設備の良い学生寮、各所に配置された十分なスペースを持つ駐車場などは、日本とは異なり、多少うらやましくもあります。キャンパス内の森では、リスやウサギを見かけることもあります。また学内には、コンビニエンスストア、郵便局、銀行、ヘアドレッサ、保険代理店、旅行代理店、様々な食堂、パブなど一通りの町の機能が備わっており、その気になれば学生はキャンパス外に出ることなく生活することが可能です。

バース大学は、しかしきわめて新しい大学にもかかわらず、英国の大学の中で研究と教育の両面ですでに確固たる地位を確立していることは驚くべきことです。英国の高等教育基金機関の研究評価結果によると、バース大学は大学全体としてオックスブリッジ、ロンドン大学の一部に次ぐ高い評価を受けています。これは多額の研究基金が大学に配分されることを意味します。またdepartment of mechanical engineeringを始めとするいくつかの部門は、2002年度のtimes紙の大学ランキングで、英国No.1の評価を受けました。しかも大学としてはまだまだこれからが伸び盛りといった感じがします。短期間にこれほど急成長を遂げたノウハウについては、是非学んで持ち帰りたいと思

うほどです。

私が所属しているのは、department of engineering and applied scienceで、head of departmentのProf. Bramleyにお世話になっております。研究としてはInnovative Manufacturing Research Centre (IMRC) という半独立の研究グループの中で、department of mechanical engineering とのジョイントで、塑性加工プロセスの最適設計に関する数値シミュレーション技術の開発をしています。研究環境については日本とほぼ同等以上で、コンピュータやネットワークシステムも最新の物が利用可能です。またfull-timeの研究スタッフの数が日本と比べてかなり多く、それぞれの研究テーマに分かれて専従で研究開発を行っています。その他に大学院生、学部生がいますので、研究のパワーは相当なものになると思います。一方、大学院生などの研究指導に関しては、チュートリアル (スーパーヴィジョン) すなわちacademic staffが個々の学生を分担して受け持ち、1対1で定期的にミーティングを持ち、個人別に指導をしているように見受けられます。この点に関してはold universityの良き伝統を引き継いでいるようです。

最後にバースと言う街について述べます。この街はローマ時代からの歴史を有する街で、風呂を意味する英語bathの語源になったところです。この街はまた世界に3箇所しかない街全体が(英国ではここだけ) UNESCOの世界遺産に指定されたところで、ヨーロッパでもっとも美しい街の一つでもあります。市街は18世紀のジョージアン様式の街並みで統一されています。実際私達家族が居住するアパートも築300年弱のもので、内装は現在では再現不可能な凝ったものです。鉄道のメインルートの上であり、ロンドンからインターシティに乗って1時間30分と近く、18世紀にはロンドンに住む貴族達の夏の避暑地兼社交場でもありました。日本で言えば、京都と軽井沢を合わせたような街と言えるでしょう。この街には、ロンドンを含む他の場所からこの街に住みたくて移ってきた人がたくさんいます。従って現在の英国で最も栄え、裕福な街の一つといえます。住民はこの街に住むことを誇りに思っており、英国で一番良いところだと言っています。バース大学が短期間に急成長できたのは、もちろんスタッフの努力によるところが大きいことは言うまでもありませんが、この街の持つ魅力がそれを強力に後押ししていることは間違いのないところだと思います。

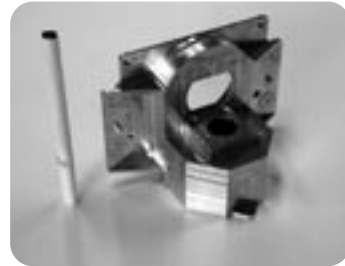




SINWA

業務内容

フライス、マシニングセンター、汎用旋盤、NC旋盤試作品加工
3次元モデルデータ作成・3次元モデル削り出し加工
鋳造・成型金型、治工具、図面作成・加工いたします



(有) 伸和工作

<http://www.sinwakosaku.co.jp/index.html/>

本社工場：〒394-0081 長野県岡谷市長地権現町1-2-7
TEL : 0266-27-3828 FAX : 0266-27-2007
担当 : 宮沢秀明 miyazawa@sinwakosaku.co.jp



リアネット協同組合

ユーザー様の発想を世に出すために、
諏訪地域の製造業者が集まって
作った協同組合です。



業務内容

研究機関の検査装置、ロボットなど作図から製作まで
小ロット品板金加工、試作品の製作、各種検査いたします

事務局 : 〒394-0084 長野県岡谷市長地方間町1-4-20
(株)ダイヤ精機製作所内
TEL : 0266-27-7733 FAX : 0266-26-1188
担当 : 小口裕司 yuji@daiya.co.jp

編集後記

今回は特集を組みました。執筆者はいずれもこの分野の第一線でご活躍されている方です。ご興味がありましたらぜひご一読下さい。なおニュースターに関する感想、ご意見などありましたら担当幹事の金沢 (kanaz@pf.it-chiba.ac.jp) までご連絡下さい。 (K.K)

発行

発行日 2003年11月15日

〒160-0016 東京都新宿区信濃町35信濃町煉瓦館

(社)日本機械学会 機械材料・材料加工部門

第81期部門長 武藤 睦治

広報委員会委員長 前川 克廣

Tel. 03-5360-3500 (代表)、Fax. 03-5360-3508