

## ポリマー精密成形による微細転写構造賦形に関する最近の動向

山形大学 大学院有機材料システム研究科 教授 伊藤 浩志



### 1. はじめに

プラスチックのマイクロ成形や微細転写成形の研究は今なお精力的に続けられている。特に、欧州や中国などでは計測技術の発展とともに、新たな成形技術等も提案されている。これら精密成形に関する研究は、1996年の論文発表から約20年以上の時間を経た。現在は、微細転写成形技術は成熟し、いわゆる当たり前の成形技術として認知されている。これまで、微細構造を成形品表面に賦形する転写成形の他、マイクロスケールの微小構造体や機械部品の精密射出成形などの研究開発が行われてきた。さらに、プラスチック表面にナノスケールの微細構造の形成が可能となる転写成形が注目された。一方、半導体プロセスを対象として、紫外線硬化樹脂を用いて露光エッチングを行うものから、紫外線もしくは熱硬化性樹脂を用いて、基材へナノスケールの微細構造を賦形するプレス成形、いわゆるナノインプリントが1995年から注目され、多くの研究が取り組まれた。このインプリント技術は印刷技術から派生し、マイクロもしくはナノスケールの構造を有する金型（モールド）を利用して、金型のレプリカを作製する技術である。基本的にはモールドを利用するため、一つのモールディングとして定義される。

微細構造を応用した超撥水や高摩擦表面を有する機能性部材、医療分野におけるマイクロ流路チップやマイクロニードル、光学分野におけるレンズ、光導波路デバイス、プリント配線基板への微細構造・電極応用を目的とした研究などが盛んに行われている。研究内容も新しいモールド・被転写素材に関するものから、転写プロセス、転写後の凹凸形状を応用したデバイス作製に関する研究が盛んである。ここでは、射出成形やナノインプリントによる微細転写成形に対して、ここ数年の研究動向と報告事例を中心に紹介したい。

### 2. 射出成形を用いた微細転写と表面機能制御

一般的に、射出成形では生産性を優先的に考えるため、金型温度をできるだけ低く設定する。しかし、プラスチック成形品の表面転写性を考えた場合、溶融樹脂が金型表面に接触した時点で固化してしまうため、その後の保時圧力では微細形状への樹脂流入が完全に行われず、転写不良が生じる。さらには射出成形の場合は、過冷却状態での樹脂の流動を伴うため、成形品のゲート付近と流動末端部では樹脂にかかる圧力が均一ではない。転写性は樹脂の粘度と圧力の関係で、ある程度決定すると考えられている。特に、金型内キャビティが薄い（薄い製品厚）場合、せん断発熱が大きくスキン層の発達を抑制するとともに流動中の圧力も上昇する。

筆者らは、精密機械加工や自己組織化を利用した金型技術とその加工技術について系統的に研究を行っている[1-6]。医療、美容分野では様々な材料でマイクロニードルアレイの作製が検討されている。特に、生体適合性材料で作製したマイクロニードルアレイは、針が皮膚内に残留しても炎症が起りにくく、比較的低侵襲である。これまで我々の研究室では、精密射出成形および熱インプリント法を用いてマイクロニードルアレイの作製を行い、構造物性を評価してきた[2]。

図1には、射出成形により作製された約 $100\mu\text{m}$ 径で、内径約 $30\mu\text{m}$ 孔のマイクロニードルアレイを示す。しかし、成形品作製時間が長時間要するという問題があり、現在は微細構造を連続で転写させる熱式ローラインプリント法によりフィルム上に様々な微細構造を付与する基礎検討を行っている。

また、アルミニウム陽極酸化（AAO）膜を用いて、微細転写射出成形を行い、ナノ構造の微細転写を実現している。AAOナノ多孔の直径を $200\text{nm}$ から $50\text{nm}$

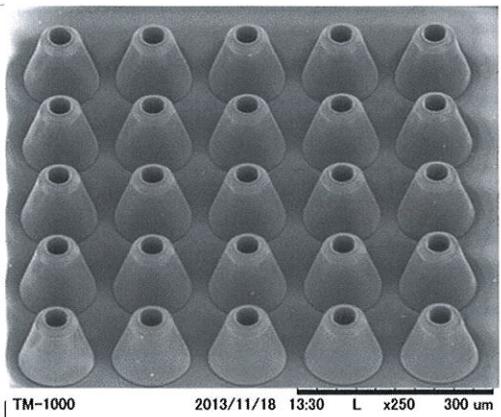


図1 ポリプロピレン製マイクロニードルアレイの表面構造  
(SEM写真)

まで変化させて、様々なサイズのナノ微細転写を行った。図2には、AAO膜をスタンパに用いて成形された成形品表面の走査型電子顕微鏡(SEM)像を示す。成形品全体を均一に転写することは難しいが、50nm径のナノ微細構造が転写されている様子が伺える。

マイクロスケールの微細転写成形における樹脂と金型の離型挙動については多くの報告がなされてきた。我々は最近、ナノスケールの精密転写射出成形において、そのナノ形状転写性と離型性の関係を調べている[6]。ここでは、蛾の目(モスアイ)構造有するスタンパを用いて微細表面転写を行い、その転写性と離型時の突出し力の相関を議論した。さらに、通常の鋼材金型構造と断熱構造金型を比較して、その相違を議論した。これらの結果、鋼材金型、断熱金型どちらも転写率が増加するにつれて、突出し力が増加する正の相関があることが分かった。また、断熱金型を用いて成形した場合、鋼材金型に比べて高い転写率となるが低い突出し力になることを示した。断熱金型、鋼材金型において全体的に同程度の転写率の場合、突出し力は断熱金型の方が小さい。この理由を明らかにするため、AFMを用いて転写構造の形態を詳細に測定した結果、断熱金型で成形したナノ構造の形状(幅)は、鋼材金

型で成形した形状幅に比べて狭くなっていることが分かった。断熱金型は熱伝導率が低く、金型内の樹脂冷却速度が鋼材金型に比べて遅くなるため、冷却固化中に樹脂内の残留応力が緩和されて冷却固化後の弾性回復が小さくなると思われる。そのため、金型と樹脂の間の摩擦が小さくなり、結果として低い突出し力になると考えられた。

欧州デンマークの研究グループは、マイクロ流体デバイス向けのサブミクロンスケールの微細構造を有する金型を用いて、環状ポリオレフィンを射出成形および射出プレス成形し、成形条件と微細構造転写性の関係について研究を行っている[7]。金型の微細構造は、電子線リソグラフィー技術を用い、Ni表面に深さ110nm、幅300nm、ピッチ間隔1,000nm、長さ450μmのライン&スペース(L&S)構造を形成させたものである。このNi表面を有する金属板(30mm×80mm)を金型の一部にセットして成形を行った。射出成形では、「金型温度」「保持圧力」「射出速度」「樹脂温度」「L&S溝方向」を因子とし、射出圧縮成形では、「圧縮開始前のキャビティの厚さ」「圧縮開始時のキャビティ内の樹脂充填量」「L&S溝方向」を因子として、実験計画法を用いて、成形条件と転写性の関係について解析を行った。転写評価の結果から、金型温度が転写性に与える影響は大きく、金型温度が低い程に転写性が低下した。これは金型温度の低下に伴って樹脂の粘度が上昇し、微細構造に樹脂が流入し難いためである。しかし、ゲートに近い場所では金型温度が低い場合でも高い転写性を示す。微細構造へ樹脂が充填されるのは、キャビティが樹脂で満たされた直後と考えられるので、ゲート近くではキャビティに流入し、転写されるためだと考えられる。さらに、キャビティゲート近くは高温の樹脂がより通過する量が多いために金型表面温度が上昇した可能性も考えられる。

一方、保圧が高い方が、転写性が低くなる結果が得られている。その理由として、金型の変形を挙げており、成形品にバリが発生しない領域においても、そのような現象が生じることを説明している[8]。また、射出速度が速い程、転写性が向上する報告もあるが[9]、射出速度が速い時には転写性が低下する結果が得られた。この理由として、金型内に存在する空気の排出が不十分であることを挙げている。

これまで熱可塑性プラスチックを用いたマイクロ射出成形が数多く行われ、最近も継続的に多くの研究報告がなされている[10-18]。しかしながら、熱可塑性エラストマーを用いた検討はあまり行われていない。前

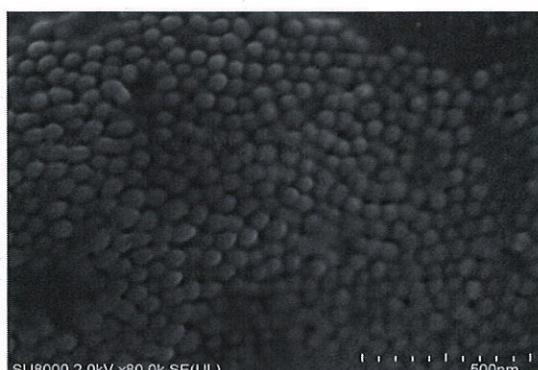


図2 ポリカーボネート製50ナノメートル表面構造体(SEM写真)

述同様、欧州デンマークの研究グループは、熱可塑性エラストマーである SEBS(スチレン-エチレン-ブチレン-スチレン共重合体)を用いた、マイクロ射出成形の研究を報告している[18]。この微小成形品は中空構造であり、センサー部品用のサスペンションリングを想定したものである。金型寸法は材料の熱収縮を予め考慮し、外径 1.55mm、内径 0.48mm である。中空構造を形成させるため、部品中心部にピンをインサートし成形を行った。このピンは、SEBS が大きな破断伸度を有するために成形後に取り外すことが可能である。ここで、成形条件の因子が成形品の外径と内径に与える影響について実験計画法を用いて解析を行っている。

筆者らは反応シリコーン樹脂を用いて射出成形を行い、また微細転写成形を行った[19-20]。ここでは、2種類の硬度の異なるシリコーン樹脂を用いて、成形条件を変化させて微細転写を行い、その表面構造の転写性評価、成形品の力学特性などを併せて評価した。

本研究では、様々な成形条件の LSR 射出成形品の物性、転写性を調べた。それらの結果、硬化時間を延ばすこと、また金型温度を上げることで、シリコーンの弾性率が上昇し、架橋点間分子量が低下した。この理由として、反応がより進むことによって成形品内部のネットワーク構造がより密になっていると考察した。さらに、様々な成形条件にて、60 μm 直径のマイクロレンズアレイ表面を有する転写成形品を作製した。成形条件を最適化することで転写率は 90% 以上を示した。さらに、シリコーンの特性を利用した変形下での光学特性をレーザー光透過試験により調べた。外から力を与えて歪を付与した場合での変形特性や光機能性を調べた結果、降伏変形下での微細構造の変形と回折現象から伸縮可能なマイクロレンズ素子の可能性も示した。

### 3. ホットエンボス/インプリントを用いた 微細転写と表面機能制御

表面に新たな機能を付与する技術として、プレス成

形を展開応用したホットエンボス成形や、半導体製造技術への応用を意識したナノインプリント成形が挙げられる。ナノスケールの微細構造を有する金型スタンパを用いることで、非常に簡便にフィルムもしくはシート上に微細構造を形成することが実現できる。ここでは、フィルムもしくはシート材料の粘弾性や熱的特性を理解するとともに、金型との濡れ性や材料の収縮特性を考慮することが重要となる。

筆者らは、前述のアルミニウム陽極酸化 (AAO) 膜をスタンパに用いて、ナノインプリント法により、様々なマイクロ/ナノスケールの表面構造を作製してきた。図3には、アルミ基板にマイクロスケール(約 50 μm)とナノスケール(約 200nm)の階層構造を付与し、そのテンプレートを用いてポリスチレン (PS) へ微細転写を行った製品の表面構造を示す。成形条件を最適化することで、純水との接触角を 160° 以上に制御することが可能であり、またその安定性は 2ヶ月以上を実現した[21]。さらに、様々なポリマーやその複合材料の一次元ナノロッド構造の作製とともに、その微細構造解析や物性評価を系統的に行ってきました[22-24]。例えば、PS や PP フィルム表面のナノ纖維形成に及ぼすプレス温度、時間、圧力の影響を明らかにしてきた。PSにおいては直径 50nm、長さ 50 μm(アスペクト比 1,000) の纖維が、PPにおいては、長さ 130 μm(アスペクト比 2,600) となるナノ纖維が形成される事も明らかにした。

また筆者らは、熱可塑性ポリエーテルイミド (PEI) フィルムに熱インプリント技術によりライン&スペース (L&S) 構造を形成させ、その L&S 構造の凹部分に銀インクを毛細管現象により充填する微細配線化技術を報告している[25]。熱インプリントに用いたモールドは、アルミ合金表面をダイヤモンド工具により切削加工した凸幅 8 μm、凹幅 12 μm の L&S 構造である。L&S 構造が形成された PEI フィルムに、テトラデカン溶媒中に平均粒子径 7nm の銀ナノ粒子が分散する銀ナノインクを滴下させて、毛細管流動による L&S 構造の

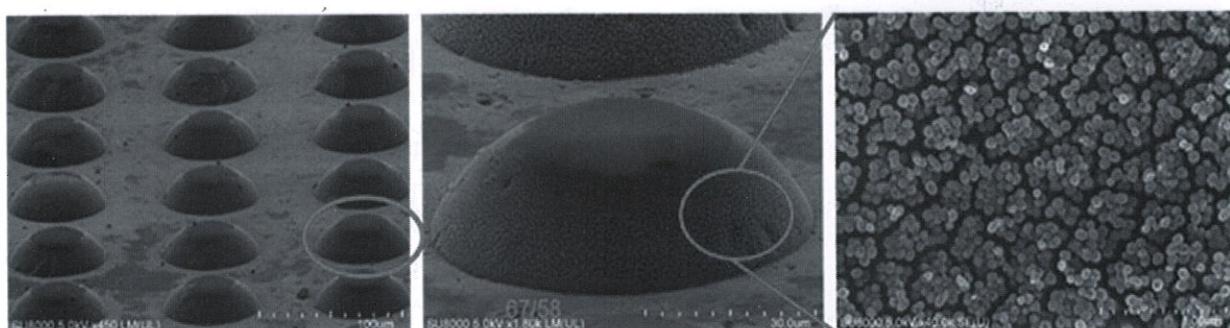


図3 マイクロ・ナノ階層構造の表面転写構造(SEM 写真)

凹への選択的な銀ナノインクの充填に成功している。

図4(a)に金型温度285°C、1MPaで熱インプリントしたPEIフィルムの3D計測画像を示す。金型構造がPEIにはほぼ完全に転写されている。図4(b)(c)には、銀ナノインク充填後に焼結処理を行ったPEIフィルムの断面および表面のSEM観察結果を示した。断面観察像より、L&S構造の凹のみに選択的に銀が充填されている。表面SEM像からも、溝方向に一様に銀が充填されることが確認できる。これら50本の配線をまとめて四端子法により電気抵抗を測定した。算出した体積固有抵抗率は $4.2 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ と良好な低効率を示し、本手法のフレキシブルプリント配線板(FPC)、プリンテッド・エレクトロニクス回路へ適用可能性が確認できた。

K-M. Leeらは、ポリプロピレン(PP)シートに、マイクロスケールで断面が三角形の溝構造を表面に有する金型を用いて、面内方向に濡れ性の異方性を示すプラスチックシートを作製する研究を報告した[26]。金型の溝構造は、電解めっき銅の平滑な金型表面を、単結晶ダイヤモンドで切削加工することで形成させている。構造の深さは10から30μm、ピッチ間隔20、40、60μmである。また、構造が形成されたPPの撥水性を向上させるために、PPシートをシラン化合物と、平均粒径15nmのアナターゼ型TiO<sub>2</sub>が分散したエタノール溶液へ浸漬させ、PPの表面コートを行った。PP表面のSEM観察を行い、PPシートに構造が転写されていること、浸漬コートを行うことでPP表面にTiO<sub>2</sub>ナノ粒子がコーティングされることが確認された。接触角測定を行った結果から、TiO<sub>2</sub>粒子による表面撥水処理を行うことにより、溝構造の大きさ、溝の方向に関わらず接触角の増大が確認され、接触角はいずれも158°以上を示した。これらの技術は水滴形状の制御や

水滴輸送技術へ応用できる可能性があると述べている。

C. M. Hanらは、微細構造を有するポリジメチルシリコサン(PDMS)スタンパの表面特性が熱可塑性ポリウレタン(TPU)への微細構造転写に及ぼす影響について研究を行った[27]。通常、PDMSは疎水性を示す(水との接触角:105°)が、硬化前のPDMS原料に界面活性成分を添加することで、親水性を示すPDMSスタンパ(水との接触角:45°)を作製している。これらのPDMSスタンパを用いて転写性を評価した。転写率の測定結果より、成形温度が転写性に及ぼす影響が最も大きいことが分かった。これは、高温になる程TPUの粘度が低下するために転写性が向上すると考察している。また、親水性と疎水性PDMSスタンパの比較においては、いずれの成形条件においても親水性スタンパの方が、高い転写性を示した。また、疎水性PDMSスタンパを用いた場合、圧力の影響は多少確認されるが、親水性PDMSを用いた場合には大きな圧力の影響がほとんど見られない。これらの結果より、スタンパ材料と被転写材料の親和性が高い場合には、圧力流れよりも毛細管現象が微細転写には重要と考察している。微細転写には、スタンパ材料と被転写材料の親和性も重要な因子となることが示唆された。

また、「紫外線(UV)」硬化樹脂のUVナノインプリントに関する研究として、S. Jangらはナノインプリント技術を用いて、酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)を表面に有するモスアイ構造のPDMSパッドの作製を行った[28]。このパッドは、表面の酸化チタンの働きによりUVを遮断するが、可視光透過性は高いために透明な素材となった。また、サブミクロンオーダーのモスアイ構造を有するために超撥水性を示し、自己洗浄機能を発現することを明らかにした。PDMSパッドの透過率スペクトルから、TiO<sub>2</sub>を含むためUVB(280-315nm)、

UVC(100-280nm)の紫外線がほぼ遮蔽され、UVA(315-400nm)の透過率も大幅に低下することが分かった。モスアイ構造の形成により可視光領域の透過率は向上し、表裏の両面にモスアイ構造が形成されたパッドは、波長550nmの透過率が97.6%と高い値を示した。また、放物面を描くモスアイ構造によって、フルネル反射が抑制されて反射率が低下することが確認でき、作製したモスアイ構造を有するPDMSパッド

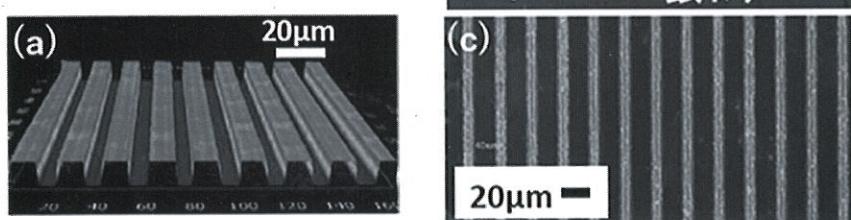


図4 熱可塑性ポリテルイミド(PEI)フィルムへの微細転写成形と配線化の様子  
(金型温度285°C、圧力1MPaでの熱インプリント)

- a) 3D計測画像
- b) 銀ナノインク充填後に焼結処理を行ったPEIフィルムの断面SEM像
- c) PEIフィルムの表面SEM像

と、脱イオン水の接触角は  $130^\circ$  と高い撥水性を示し、自己洗浄機能が発現することも確認された。

P. Cully らは、蓮の葉を模倣する表面構造を有する超撥水性、自己洗浄性、耐摩耗性に優れるナノコンポジットを作製している [29]。ナノコンポジットは、一次粒径  $12\text{nm}$  のシリカ粒子が充填される UV 硬化型アクリル樹脂であり、アクリル樹脂は分子構造の異なる 2 種類を用いている。また、界面活性成分としてアクリル基を有するシロキサン化合物を添加している。作製されたナノコンポジット（シリカ含有率 25vol%）の表面 SEM 像から、直径約  $5\mu\text{m}$  のピラーが表面に均一に形成されていることが確認でき、水とナノコンポジットとの接触角はシリカ粒子未充填の平滑表面の場合  $90^\circ$  程度であるが、シリカ粒子を 25vol% 含むと  $100^\circ$  程度となった。微細構造表面を有するナノコンポジットは、シリカ粒子が未充填の場合でも  $130^\circ$  を越える高い接触角を示すが、シリカ粒子の添加量が増えるに従い接触角は上昇し、シリカ粒子を 25vol% 含む試料では  $150^\circ$  と高い接触角を示した。さらに、この微細構造を有するナノコンポジット試料表面に疎水性の胡椒粉体を堆積させて、水を滴下した場合、完全に胡椒粉体が除去される自己洗浄機能も確認された。

ロールツーロールナノインプリント（R2RNIL）は、サブミクロンから数十ミクロンの微細構造を連続的に製造できるため、様々な応用が期待されている。R2RNIL は熱可塑性樹脂を加熱モールドに押し付けて形状を転写する熱ナノインプリント方式と、UV 硬化樹脂が塗布された基材をモールドに押し付けて UV 硬化反応による形状を転写する UV 硬化方式に大別することができる。筆者らも連続プロセスによる微細構造形成について、そこで生じる様々な課題や、転写のメカニズム解明に取り組んできた [30]。具体的には、直径  $100\text{nm}$  のナノピラー（円柱状の突起）を有するフィルムを R2RNIL で安価に製造に関してである。これが実現できれば、正反射防止フィルムや超撥水フィルムなど様々なアプリケーションが期待できる。評価の結果、様々な課題が挙げられ、①エアトラップがおきる閉孔内に樹脂を浸透させること、仮に十分に浸透させられたとしても②先端部に溶存した酸素による阻害反応による硬化不良に伴う離型不良、③樹脂とモールドの摩擦や真空生成がもたらす離型抵抗の増大によるナノピラーの破断などである。特に、長時間にわたり製造を続けると、②の現象に依り徐々に UV 硬化樹脂の残渣が堆積していき、スタンパモールドが閉塞してしまう課題なども挙げられる。

## 4. 微細転写成形技術の技術動向と将来展望

ナノインプリントや精密射出成形による表面微細形状付与技術は、様々なエレクトロニクスデバイス、バイオデバイス、記録媒体、光学素子や MEMS などの素子基板作製技術として、今後ますます注目される。これらに関わる要素技術は非常に広範囲にわたり、転写モールド、樹脂特性、成形機、評価技術、成形技術や離型技術に関する研究が幅広く行われている。近年、これらの精密転写技術に関する研究成果や論文は、特に中国からの報告が増え、さらに欧州においても変わらずに盛んに研究は行われている。

熱可塑性プラスチックを用いた精密転写成形研究の多くは、プラスチックの高い成形性（形状自由度）、連続成形性を生かし、既存の技術より如何に、シンプルな工程で、短時間で、環境にやさしい技術を開発するかを目的にしているように見受けられ、今後の研究の発展に期待したい。一方で、PDMS やアクリル系の熱硬化系プラスチックを用いた研究では、低粘度という特長を生かし、ナノスケール構造の転写、転写モールドとして精密さを追求する用途に適用されており、バイオ、光学、エレクトロニクスへの応用研究が依然盛んに行われている。

本精密成形技術の更なる発展に向け、高精度・微細転写を可能とする材料、新たな金型加工、成形装置や加工技術、表面処理技術、塗装技術、プロセスモニタリング、数値解析、高次構造や物性の評価技術、観察技術などの発展、各要素技術の最適化・複合化、特に近年発展が著しい A.I. 技術、CAE 技術、3D プリントに代表されるアディティブ・マニュファクチャリング技術などを融合する研究にも期待したい。

### 引用文献

- 1) Y. Kayano, K. Zouta, S. Takahagi, H. Ito: International Polymer Processing, 26(3), 304-312, 2011
- 2) H. Ito: Abstract book of 11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (11th EMSES), IN01, p.2, 2013
- 3) D. Chu, A. Nemoto, H. Ito: Microsystem Technologies, 20, 193, 2014
- 4) D. Chu, A. Nemoto, H. Ito: Applied Surface Sci., 300, 117, 2014
- 5) K. Taki, S. Nakamura, T. Takayama, A. Nemoto, H. Ito: Microsystem Technologies, 22, 31, 2016
- 6) 村岡秀太, 伊藤浩志, 大島輝, 安達高広: プラスチック成形加工学会年次大会予稿集, 成形加工'15, E-205, 2015

- 7) M. Calaon, G. Tosello, J. Garnaes, H. N. Hansen: *J. Micromech. Microeng.*, 27 105001, 2017
- 8) V. Leo, C. Cuveliez: *Polymer Engineering and Science*, 36(15), 1961, 1996.
- 9) C. A. Griffiths, S. S. Dimov, S. Scholz, G. Tosello: *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 133, 10, 2011
- 10) R. Surace, V. Bellantone, G. Trotta, V. Basile, F. Modica, I. Fassi : *J. Micro. Nano-Manuf.*, 4(1), 011006, 2015)
- 11) J. M. Stormonth-Darling, R.H. Pedersen, C. How, N. Gadegaard: *J. Micromech. Microeng.*, 24(7), 075019, 2014
- 12) S. Ontiveros, J. A. Yagüe-Fabra, R. Jiménez, G. Tosello, S. Gasparin, A. Pierobon: *Meas. Sci. Technol.* 23(12), 125401, 2012
- 13) H. Y. Lin, C. H. Chang, W. B. Young: *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 37, 1477, 2010
- 14) K. F. Zhang, Z. Lu: *Microsystem Technologies*, 14, 209, 2008
- 15) B. Sha, S. Dimov, C. Griffiths, M. S. Packianather: *J. Mater. Process Technol.*, 183, 284, 2007
- 16) D. Masato, M. Sorgato, G. Lucchetta: *Mater. Des.*, 95, 219, 2016
- 17) H.-L. Lin, C.-S. Chen, R.-T. Lee, S.-C. Chen, R.-D. Chien, M.-C. Jeng: *Jpn. J. Appl. Phys.*, 52, 44001, 2013
- 18) F. Baruffi, M. Calaon, G. Tosello: *Precision Engineering*, 51, 353, 2018
- 19) T.Satoh, H.Ito, A.Nemoto, A.Ishigami: 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC2016), 16P-G3-112b, 756, 2016 ((Fukuoka)Japan)
- 20) 佐藤泰介, 石神明, 根本昭彦, 伊藤浩志: プラスチック成形加工学会 第24回秋季大会予稿集(成形加工シンポジア'16), B206, 56, 2016
- 21) D.Chu, A.Nemoto, H.Ito: *Microsystem Technologies*, 21, 123, 2015
- 22) P. Muanchan, S. Suzuki, T. Kyotani, H. Ito: *Polymer Engineering & Science*, 57(2), 214-223, 2017
- 23) P. Muanchan, T. Kurose, H. Ito: *Polymers*, 11(6), 1039, 18 pages, 2019
- 24) P. Muanchan, T. Kurose, H. Ito: *Journal of The Electrochemical Society*, 166(9), B3282-B3289, 2019
- 25) 黒瀬隆, 宮戸啓太, 根本昭彦, 伊藤浩志: 平成30年度繊維学会年次大会予稿集, 1E04, 2018
- 26) K. M.Lee, C.V. Ngo, J.Y. Jeong, E.C. Jeon , T.J. Je, D.M. Chun : *Coatings*, 7, 194, 2017
- 27) C.M. Han, B.K.Lee: *Microelectronic Engineering*, 190, 38, 2018
- 28) S. Jang, S. M. Kang, M. Choi : *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9, 44038, 2017
- 29) P. Cully, F. Karasu, L. Müller, T. Jauzein, Y. Leterrier: *Surface & Coatings Technology*, 348, 111, 2018
- 30) K. Taki, S. Kondo, H. Ito: *Journal Photopolym. Sci. Technol.*: 29(6), 835-940, 2016

## 世界初の連続する空隙構造を持つ多孔質炭素繊維を創出

～サステイナブル社会に不可欠な高性能ガス分離膜の性能向上に貢献～

東レ株式会社

東レ株式会社は、世界初となるナノサイズの連続する空隙構造を持った多孔質炭素繊維を創出した。

今回、開発した素材をガス分離膜の構造を支える支持層に用いることで、温室効果ガス（CO<sub>2</sub>）の分離や水素製造に用いられる高性能分離膜の軽量化やコンパクト化が図られるとともに、分離性能を向上させることができる。

同素材は同社の保有する高分子技術と、トップシェアを誇る炭素繊維技術や水処理等の分離膜技術を融合させることで創出した。同社の得意とする高分子技術を活用することで、すべての細孔空隙と炭素が規則的に連続する多孔質炭素繊維を生み出した。この細孔空隙構造は、孔径サイズをナノレベルからマイクロレベルに任意に作ることが可能である。また、この多孔質炭素繊維の中心部を空洞とした中空糸形状とすること可能である。

さらに、この多孔質炭素繊維は吸着性能にも優れてお

り、その特性を活かした用途として、電極材料や触媒の担持（他の物質を固定するベースの物質）など高性能電池への応用も可能である。

同社では同素材の更なる研究・技術開発を進め、カーボンリサイクルの促進や水素社会、省エネの実現に向けて、外部との連携も視野に用途開発を進めていく。

