リサイクル PTFE 焼成体の組織構造と機械強度に与える乳化重合 PTFE 粉末添加の影響

春日 秀之^{*, **} 板橋 聡^{**}
川村 渉^{**} 三島 彰司^{***}

Influence of Addition of Emulsion Polymerized PTFE Powder on Particle Morphology and Mechanical Strength of Recycled PTFE Compacts

by

Hideyuki KASUGA^{*, **}, Satoshi ITABASHI^{**},
Wataru KAWAMURA^{**} and Shozi MISHIMA^{***}

PTFE compacts fabricated using recycled PTFE powder show much lower mechanical strength than those fabricated using virgin PTFE powder. We reported in the previous paper that its main reason was the fibrous morphology which the virgin PTFE had but the recycled PTFE did not have. Then, in order to heighten the mechanical strength of the recycled PTFE compacts, we focused on the emulsion of PTFE which is called “dispersion” because the dry powder is easy to become a fiber form by suffering external stress. So in this study, PTFE compacts were fabricated using recycle PTFE and dispersion powder mixtures and the microstructure and mechanical properties of the obtained PTFE compacts were investigated. The porosity of the PTFE compacts decreased with an increase in dispersion powder content, was under 1% at more than 50wt% dispersion powder content and was 0% at 100wt% dispersion powder content. These results indicate that the PTFE compacts fabricated using recycle PTFE containing more than 50wt% dispersion powder can densify almost completely. Tensile strength of the PTFE compacts increased with an increase in dispersion powder content, that of the PTFE compact fabricated using recycle PTFE containing 50wt% dispersion powder reached 90% of that of the PTFE compact fabricated using only dispersion powder and was four times larger than that of the PTFE compact fabricated using only recycle PTFE powder, which resulted from not only poreless microstructure but also entangled structure of fibrous dispersion powder surrounding recycle PTFE particles. In addition, such PTFE compacts had lower tensile strength and larger tensile elongation, compared with those fabricated from normal virgin PTFE powders, which shows that they are particular PTFE compacts.

Key words:

Polymeric materials, Sintered materials, Morphological observation, Strength degradation, Recycle

1 緒 言

ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) は耐熱性, 耐薬品性, 耐候性および摺動性などの様々な優れた特性を併せ持つ極めて優秀な高分子材料である。PTFE は融点以上の温度でも高い粘度 (1010~1012 Pa・S) を保ち, 流動性を示さない。そのため, PTFE 製品の製造では, 金属の粉末冶金法のように原料粉末を圧縮成形し, 焼成して焼成体をつくり, 製品形状を削り出すという一連の工程が必要となる^{1), 2)}。PTFE 焼成体を削り出す切削工程では大量の切削屑が発生する。PTFE は極めて化学的に安定であるため, 土壌中で微生物分解も受け付けられない。完全な気化には 600℃以上を要し, 高温加熱時に人体に有害なガス (フッ化水素等) が発生する^{3), 4)}ため, 焼却処分もできない。そ

のため, 現状では, 大量の切削屑は産業廃棄物として埋め立てするしか処分方法がなく⁵⁾, 効果的な処分方法やリサイクル方法が求められている。

一方, 一度焼成を行った PTFE 製品や切削屑を原料として作製したリサイクル PTFE 焼成体 (以下リサイクル PTFE) は, 蛍石から作られたばかりのバージン PTFE 粉末を成形し焼成した焼成体 (以下バージン PTFE) に対して, 機械強度が大きく劣る傾向が確認されている⁶⁾。筆者らは, 前報⁷⁾で PTFE の機械強度は焼成体の組織構造に影響されることを明らかにした。バージン PTFE の原料粉末は繊維状組織を有するため, 成形時に粒子の繊維状組織同士が互いに絡み合うことで充填率の向上とある程度の

本報を「廃棄PTFEのリサイクル方法の確立(第2報)」(Establishment of Recycling Method of Waste PTFE, II)とする。また, 前報は材料67巻6月号626頁(2018)に掲載済みである。

† 原稿受理 平成30年3月9日 Received Mar. 9, 2018 ©2019 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 信州大学大学院総合工学系研究科 〒380-8553 長野市若里

Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, Wakasato, Nagano, 380-8553

** NiKKi Fron (株) 〒381-0003 長野市穂保

NiKKi Fron Co., Ltd., Hoyasu, Nagano, 381-0003

*** 信州大学工学部 〒380-8553 長野市若里

Faculty of Engineering, Shinshu University, Wakasato, Nagano, 380-8553

強化が起こり、それを焼成することで粒子間は緻密化および融着し、強い界面結合が形成する。一方、リサイクル PTFE の原料粉末は繊維状組織がないため粒子の絡み合いが起こらず、焼成しても PTFE 粒子間で強固な界面結合が形成されない。このような違いが、気孔の存在に加えて、リサイクル PTFE の機械強度を大きく低下させた理由であった。

PTFE 原料には、テトラフルオロエチレンを懸濁重合により調製されるモールディングパウダーと呼ばれる粉末、乳化重合により調製されるファインパウダーと呼ばれる粉末とディスパーションと呼ばれるコロイド状の乳化液が市販されている^{8), 9)}。その中のディスパーションは、一般には基材へのコーティングや含浸に用いられており^{8), 9)}、ディスパーションを凝析して得られる PTFE 粉末は白色で柔らかく粘性を有し、応力を受けて繊維化しやすいことが知られている^{9), 10)}。この繊維化しやすい性質を利用することで、ディスパーションはリサイクル PTFE の機械強度を高める添加剤として期待できる。しかし、ディスパーションをリサイクル PTFE と混合して PTFE 焼成体を作製し、評価した例はない。

そこで、本研究では、リサイクル PTFE の機械強度の向上を目的として、繊維化しやすい PTFE 粒子を含むディスパーションをリサイクル PTFE の原料粉末に添加して PTFE 焼成体を作製し、得られた PTFE 焼成体の微細組織と機械強度について検討した。また、ディスパーションの比較として、懸濁重合により調製されたバージン PTFE 粉末（モールディングパウダー）も用い、リサイクル PTFE 粉末に添加して焼成体を作製し、評価した。

2 実験方法

2・1 PTFE 原料粉末

リサイクル PTFE の原料粉末（以下リサイクル PTFE 粉末）として、PTFE 切削屑をカッターで再度粉碎して微粒子化し、平均粒径を約 50 μm に調整した PTFE 粉末を用いた。ディスパーションとして、乳化重合により調製されたバージン PTFE 乳化液（三井 DuPont フロロケミカル株式会社製：31-JR、平均粒径 0.2~0.25 μm 、嵩密度 1.5g/cm³、濃度 60wt%）を用いた。また、モールディングパウダーとして、懸濁重合により調製されたバージン PTFE 粉末（巨化集团公司製：JF4A1、平均粒径 350 μm 、真密度 2.17g/cm³、融点 329°C、引張強度 29 MPa、引張伸び 300%）を用いた。

2・2 バージン・リサイクル PTFE 混合粉末の調製

秤量したリサイクル PTFE 粉末とディスパーションをフラスコへ入れ、溶媒としてイソプロピルアルコール（IPA）を加え、十分に振り混ぜた。ブフナー漏斗を用いて溶媒の吸引濾過を行い、混合物を水と IPA を用いて洗浄し、ディスパーションに含まれている乳化剤を除去した。洗浄後の混合物を乾燥させた後、ブレンダー（WARING 社、ワークリングブレンダー：7011HS）を用いて均一に粉碎混合し、ディスパーション・リサイクル

PTFE 混合粉末とした。

他方、秤量したリサイクル PTFE 粉末とモールディングパウダーはブレンダーで均一に粉碎混合し、モールディングパウダー・リサイクル PTFE 混合粉末とした。

2・3 PTFE 焼成体の作製

2・2 で調製した混合粉末を用いて、前報⁷⁾と同様に焼成体を作製した。その概略を以下に示す。混合粉末（16.8g）を円筒状ステンレス製金型に入れて、手漕ぎプレス機を用いて面圧で約 30MPa となるように圧力を加え、1min 保持した。得られた PTFE 成形体を焼成炉で室温から 300°C まで 3h かけて昇温し、続いて 370°C まで 4h かけて昇温し、その温度で 3h 保持した。その後、300°C まで 5h かけて降温した。300°C に達したところで試料を取り出して放冷し、PTFE 焼成体とした。また、前報⁷⁾と同様に、機械強度を測定するために、PTFE 焼成体を打抜きプレス機により、ダンベル状試験片を作製した。

なお、ディスパーションおよびモールディングパウダーを添加して作製したリサイクル PTFE 焼成体をそれぞれ D-リサイクル PTFE および M-リサイクル PTFE と示す。

2・4 評価

PTFE 原料粉末および PTFE 焼成体の微細構造、および PTFE 焼成体のかさ密度、気孔率、引張強度および引張伸びについて、前報⁷⁾と同様に評価した。

3 結果と考察

3・1 PTFE 原料粉末および混合粉末の形態

ディスパーションを乾燥した粉末の繊維状組織は分子鎖間の凝集力が低いため、上述したように、わずかな剪断応力により繊維化する^{8), 9)}。そこで、本研究で用いたリサイクル PTFE 粉末、ディスパーションをろ過、洗浄および乾燥して得られたディスパーション粉末、およびモールディングパウダーの SEM 画像を Fig.1 に示す。リサイクル PTFE 粉末は、直径 5~80 μm の粒子で、凝集しており、繊維状組織はほとんどみられない。ディスパーション粉末は 1 μm に満たない微小な粒子で構成されており、これらの粒子から粒子と粒子を繋ぐように伸びている多数の細かな繊維状組織が観察された。このディスパーション粉末は、特に機械的応力を負荷しておらず、原料粉末の段階で繊維状組織がすでに形成されていることがわかった。この繊維状組織は、押し出しにより配向されたディスパーション粉末の形態に類似している⁹⁾。モールディングパウダーは 300~400 μm の球状の顆粒状態にあり、顆粒は数 μm ~50 μm の一次粒子から構成されていることがわかる。

ディスパーション粉末の含有量が 50wt% および 80wt% のディスパーション・リサイクル PTFE 混合粉末とモールディングパウダーの含有量が 50wt% のモールディングパウダー・リサイクル PTFE 混合粉末の SEM 画像を Fig.2 に示す。ディスパーション・リサイクル PTFE 混合粉末において、ディスパーション粉末の含有量が 50wt% の混合粉体（Fig.2(a)）を Fig.1(a)で観察されるリサイクル PTFE

Fig. 1 SEM images of (a) recycled PTFE powder, (b) dried dispersion powder and (c) molding powder.

粒子と比べると、混合粉末の粒子はより大きく、その表面に矢印で示すような繊維状粒子が付着しているものもみられる。この混合粉末の粒子はリサイクル PTFE 粒子に粘着性のディスパージョン粉末が凝集して取り巻いた結果と考えられる。また、Fig.2(b)にも、ディスパージョン粉末はFig.1(b)でみられるような、細い繊維状ではないが、矢印で示した部分のように繊維状であることが確認される。ディスパージョン粉末は応力を受けて繊維化しやすいため、ブレンダーを用いてリサイクル PTFE と混合する際に、繊維化が進み、リサイクル PTFE 粒子に絡みついたと考えられる。また、ディスパージョン粉末の含有量が 80wt% の混合粉体では、繊維状のディスパージョン粉末粒子が絡み合っリサイクル PTFE と混合されている様子がわかる。一方、モルディングパウダー・リサイクル PTFE 混合粉末では、凝集したリサイクル PTFE 粒子が細かく粉碎され、顆粒状のモルディングパウダーも粉碎されて一次粒子の状態で、均一混合されている。

Fig. 2 SEM images of recycled PTFE powder mixtures containing (a) 50wt% dispersion powder, (b) 80wt% dispersion powder and (c) 50wt% molding powder.

3・2 緻密化および微細組織へ与える

ディスパージョン添加効果

リサイクル PTFE, D-リサイクル PTFE および M-リサイクル PTFE のかさ密度および気孔率を Fig.3 に示す。D-リサイクル PTFE のかさ密度はディスパージョン粉末の含有量が増加するにつれて高くなり、ディスパージョン粉末の含有量が 50 wt% になると、ディスパージョン粉末のみの PTFE 焼成体と同水準の約 2.2 g cm^{-3} に達した。さらに、ディスパージョン粉末の含有量が多くなっても、かさ密度はほとんど変化せず、 2.2 g cm^{-3} 前後の値で一定した。ディスパージョン粉末のみの PTFE 焼成体は、前報⁷⁾のバージン PTFE よりも、わずかに高いかさ密度を示した。また、気孔率はディスパージョン粉末の含有量が増加するにつれて低下し、ディスパージョン粉末の含有量が 50 wt% になると、1%以下となり、さらに含有量が増加し、含有量 100 wt% で 0%を示した。これらより、ディスパージョン粉末のみでも、前報⁷⁾のバージン PTFE と同様に完全に緻密化し、ディスパージョン粉末の含有

Fig. 3 (a) Bulk density and (b) void ratio of sintered PTFE compacts.

◆: recycled PTFE, ●: recycled PTFE containing dispersion powder, ○: recycled PTFE containing molding powder, ▲: virgin PTFE⁷⁾.

量が 50wt%以上になると D-リサイクル PTFE でも、ほぼ完全に緻密化することがわかった。一方、モールドイングパウダーをリサイクル PTFE へ添加しても、PTFE 焼成体のかさ密度が高く、気孔率が低下することがわかる。しかし、モールドイングパウダーとディスパージョン粉末の含有量が同じ場合、D-リサイクル PTFE よりも、M-リサイクル PTFE の方が、かさ密度は低く気孔率が高い。

D-リサイクル PTFE および M-リサイクル PTFE の表面の SEM 画像を Fig.4 に示す。ディスパージョン粉末の含有量が 50wt% の D-リサイクル PTFE では、数 μm ~ 50 μm 程度の大きな粒子が密充填している様子が観察される。この大きな粒子は、リサイクル PTFE 粒子にディスパージョン粉末粒子が取り巻いたものと考えられ、SEM 画像ではわかりにくい。Fig.4(a) の○で囲んだ部分でみられるように、大きな粒子間には微細な繊維状組織も観察される。ディスパージョン粉末の含有量が 80wt% の D-リサイクル PTFE では、粒状の PTFE 粒子と繊維状組織の PTFE が明確に区別され観察できる。繊維状組織の部分では、数 μm の繊維が絡みあった様子がみられる。粒状の PTFE 粒子の中には、Fig.4(b) の○で囲んだ部分のように、表面に短い繊維組織がみられるものもあり、また、

Fig. 4 SEM images of sintered recycled PTFE compacts containing (a) 50wt% dispersion powder, (b) 80wt% dispersion powder and (c) 50% molding powder.

リサイクル PTFE 粒子は Fig.1(a)で示すように繊維状組織がないことから、リサイクル PTFE 粒子にはディスパージョン粉末粒子が取り巻いているといえる。一方、M-リサイクル PTFE は数 μm の球状粒子から成り、それら球状粒子から構成される凝集粒子も観察される。また、その M-リサイクル PTFE にはディスパージョン粉末の含有量が 50wt% の D-リサイクル PTFE ではみられない数十 μm の空隙も確認される。

以上より、D-リサイクル PTFE および M-リサイクル PTFE の緻密化は、以下のように考察される。

ディスパージョン粉末の含有量が 50wt%以上の D-リサイクル PTFE では、Fig.2(a)と(b)にみられるように、粘着性のディスパージョン粉末粒子がリサイクル PTFE 粒子を取り巻いており、成形によって、ディスパージョン粉末粒子がマトリックスを形成し、その中にリサイクル PTFE 粒子が埋め込まれた充填構造を形成すると考えられる。そのため、D-リサイクル PTFE の緻密化はディスパージョン粉末粒子同士の緻密化によるものとなり、リ

サイクル粒子にはほとんど影響を受けることなく、気孔率はディスパージョン粉末のみの PTFE 焼成体とはほぼ同程度の 1%以下に達し、D-リサイクル PTFE はほぼ完全に緻密化したと考えられる。他方、ディスパージョン粉末の含有量が 50wt%よりも少ない D-リサイクル PTFE 混合粉末中では、ディスパージョン粉末粒子がリサイクル PTFE 粒子を十分に取り囲むことがないため、成形後はリサイクル PTFE 粒子同士が接触し、ディスパージョン粉末の含有量が少ないほど、その接触は増加する。その結果、リサイクル PTFE 粒子による 3 次元骨格構造が形成され、微細なディスパージョン粉末粒子はその空隙に入ると考えられる。そのため、D-リサイクル PTFE の緻密化はリサイクル PTFE 粒子間の緻密化に依存するようになり、ディスパージョン粉末の含有量が増加するにつれ、その気孔率は低下するものの、0%近くにはならなかったものと考えられる。

一方、M-リサイクル PTFE では、混合時に凝集しているリサイクル PTFE 粉末および顆粒状のモールディングパウダーが粉砕され、ほぼ同じ大きさのリサイクル PTFE 粒子とモールディングパウダー粒子が Fig.2(c)でみられるように均一混合される。そのため、特にモールディングパウダーの添加量が 50wt%以下では、成形後には、大きなリサイクル PTFE 粒子が形成する骨格構造の空隙に小さなモールディングパウダーが充填した構造ではないため、M-リサイクル PTFE の充填率は向上しない。しかも、その緻密化は、リサイクル PTFE 粒子間の緻密化にも依存するため、D-リサイクル PTFE ほど緻密化しなかったと考えられる。

3・3 機械的特性へ与える

ディスパージョン添加効果

リサイクル PTFE、D-リサイクル PTFE および M-リサイクル PTFE の引張強度および引張伸びを Fig.5 に示す。ディスパージョン粉末の含有量の増加にしたがって、D-リサイクル PTFE の引張強度はより向上した。ディスパージョン粉末の含有量が 0%から 50 wt%へ増加すると、引張強度は約 5MPa から約 21 MPa へ約 4 倍の増加を示し、その含有量が 50 wt%以上になると引張強度の増加量は緩やかになり、含有量 80 wt%および 100 wt%で約 23 MPa の引張強度となった。PTFE 焼成体の引張伸びについても引張強度と同様に、ディスパージョン粉末の含有量の増加とともに大きくなった。特に、ディスパージョン粉末の含有量が 20wt%から 50wt%へ増加すると、引張伸びは急激に大きくなり、その含有量が 50 wt%で約 400%の引張伸びを示した。さらに、ディスパージョン粉末の含有量を増加させると、含有量 80 wt%で引張伸び約 460%と最も高い値を示し、含有量 100 wt%では約 440%と若干の減少がみられた。

以上の結果より、ディスパージョン粉末の含有量が 50 wt%の PTFE 焼成体の気孔率はほぼ 0%になるが、その引張強度はディスパージョン粉末のみの PTFE 焼成体の機

Fig. 5 (a) Tensile strength and (b) tensile elongation of sintered PTFE compacts. ◆: recycled PTFE, ●: recycled PTFE containing dispersion powder, ○: recycled PTFE containing molding powder, ▲: virgin PTFE⁷⁾.

Fig. 6 FE-SEM images of recycled PTFE compacts containing 50wt% dispersion powder.

械強度の 9 割程度の値を示すことが見出された。あと 1 割の改善は、繊維状組織の量に依存すると考えられる。他方、含有量が同じ場合、気孔率の高い M-リサイクル PTFE は D-リサイクル PTFE よりも引張強度が低かった。この結果は、PTFE 焼成体の機械的強度が繊維状組織の有無の他にも気孔率にも影響を受けるという前報⁷⁾の結果と一致した。さらに、ディスパージョン粉末が繊維化して、リサイクル PTFE 粒子に絡みつくと、気孔率を効果的に低下させるとともに、引張強度の向上にも寄与したと考えられる。

ディスパーション粉末の含有量が 50 wt% の D-リサイクル PTFE に発生した亀裂の FE-SEM 画像を Fig.6 に示す。この PTFE 焼成体は、Fig.4(a)ではみられなかった繊維が互いに絡み合った微細組織を有していることがわかる。これより、リサイクル PTFE へディスパーションを添加することにより、PTFE 焼成体に繊維状組織が形成されることが明らかである。この繊維状組織は、Fig.1(b)でみられる細い繊維が微細な粒子を介して束となっている繊維束と繊維径が同程度であることから、ディスパーション粉末粒子の繊維状組織に由来するものであり、それはリサイクル PTFE 粒子を取り巻くことで緻密化を促進し、機械強度を向上させるものと考えられる。このような繊維状組織のディスパーション粉末を 50wt%程度含有させることで、D-リサイクル PTFE をディスパーション粉末のみの PTFE 焼成体の 9 割程度の機械強度を、80wt%含有させることでほぼ同程度の機械的強度を示すようになる。

また、ディスパーション粉末のみの PTFE 焼成体の引張強度（約 20MPa）は、前報⁷⁾で示したバージン PTFE の引張強度（約 32MPa）よりも低いが、気孔率 0% のリサイクル PTFE の引張強度（約 15MPa）よりも高くなった。さらに、ディスパーション粉末の含有量が 50wt% の D-リサイクル PTFE は、引張伸びがリサイクル PTFE の約 8 倍にもなり、ディスパーション粉末のみの PTFE 焼成体の引張伸び（約 440%）は、前報⁷⁾のバージン PTFE の引張伸び（約 340%）よりも大きくなった。これらは、焼成体中でマトリックスを形成するディスパーション粉末粒子が引張応力を受けると、Fig.6 でみられるように、絡み合った繊維が大きく伸びる一方で、比較的低い応力で、絡み合った繊維同士は引き離されることによるものと考えられる。

以上のように、Fig.1(b)に示される細い繊維と微細な粒子から構成されるディスパーション粉末のみを用いて PTFE 焼成体を作製すると、繊維が絡み合い繊維状組織を形成し、通常用いられる懸濁重合で調製されるバージン PTFE の焼成体よりも、引張強度は小さいものの、引張伸びが大きい特徴的な PTFE 焼成体が得られることがわかった。また、その引張強度および引張伸びは、リサイクル PTFE を 50wt%含有させても、繊維組織がリサイクル PTFE 粒子を取り巻くため、大きく低下しないことがわかった。

4 結 言

リサイクル PTFE 粉末に PTFE の乳化液であるディスパーションを混合させることで、リサイクル PTFE 焼成体の機械強度が増大することが見出された。また、そのリサイクル PTFE 焼成体の機械強度はディスパーション粉末の含有量が増加するにしたがい高くなった。ディスパーション粉末を 50 wt%含有させると、リサイクル PTFE 焼成体の気孔はほぼ消失し、その引張強度はディスパーション粉末のみの PTFE 焼成体の約 9 割に達し、リサイクル PTFE 焼成体の約 4 倍となった。このように

ディスパーション粉末を 50 wt%以上含有した PTFE 焼成体は、リサイクル PTFE 粒子に繊維状のディスパーション粉末粒子が取り巻いた気孔の無い緻密な構造を有しており、ディスパーション粉末粒子の繊維同士が絡み合った構造を持つことを確認した。このような PTFE 焼成体は、通常用いられる懸濁重合で調製されるバージン PTFE の焼成体よりも、引張強度は小さいものの、引張伸びが大きい、特徴的な PTFE 焼成体であることがわかった。

今後、ディスパーションの分散性を向上させるための実験を行い、少ない添加量で機械強度を上げること検討する。本方法はディスパーション添加量を変えることで、PTFE の機械強度の調節を行うことができ、PTFE のリサイクル利用拡大への貢献が期待される。

東京大学大学院工学系研究科堂免一成教授および信州大学工学部大石修治教授と樽田誠一教授には、実験計画や分析結果の考察など様々な場面でご助言頂きました。筆者ら一同御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) J. I. Kroschwitz, "Concise encyclopedia of polymer science and engineering", translated by I. Mita, pp.681-683 (1994) Maruzen.
- 2) M. Kawauchi, "Fussojyushi Handbook", edited by T. Satokawa, pp.93-147 (1990) Nikkan Kogyo Shimbun, Limited.
- 3) R. S. Waritz, "An industrial approach to evaluation of pyrolysis and combustion hazards", Environmental Health Perspectives, Vol.11, pp.197-202 (1975).
- 4) C. M. Simon and W. Kaminsky, "Chemical recycling of polytetrafluoroethylene by pyrolysis", Polymer Degradation Stability, Vol.62, pp.1-7 (1998).
- 5) "Fussojyushi Handbook Kaitei 11 han", edited by Japan Fluoropolymers Industry Association Kaitei11han Editorial Board, pp.107-108 (2008) Japan Fluoropolymers Industry Association.
- 6) A. G. Buekens, "Some observations on the recycling of plastics and rubber", Conservation & Recycling, Vol.1, pp.247-271 (1977).
- 7) H. Kasuga, S. Itabashi, W. Kawamura and S. Mishima, "Influence of Change in PTFE Powder Particle Morphology by Recycling on Mechanical Strength of PTFE Compacts", Journal of the Society of Materials Science, Japan, in press.
- 8) T. Shimizu, "Fussojyushi Handbook", edited by T. Satokawa, pp.29-33 (1990) Nikkan Kogyo Shimbun, Limited.
- 9) T. Satokawa, "Polytetrafluoroethylene dispersion", Journal of Japan Society of Colour Material, Vol.48, pp.509-516 (1975).
- 10) Y. Tani, H. Sekine, J. Shibata and Y. Kamimura, "Development of grinding wheels using fibrillation of fluororesin", Seisan-Kenkyu, Vol. 58, pp.110-114 (2006).