

## 3M™ Betapure™ ポリプロピレン不織布デプスフィルターカートリッジ NT-Tシリーズの特性評価：ビール醸造所における珪藻土トラップフィルター

### 序章

珪藻土フィルターは、リーフフィルター、または一次フィルターと呼ばれることもあり、現代の醸造所で最も普及しているフィルターの一つです。世界中で生産されるビールの大部分は、低温殺菌の有無に関わらず、珪藻土フィルターを通過します。

しかし珪藻土フィルターの欠点の一つとして、ビール中への珪藻土粒子の流出が挙げられます。一旦流出してしまうと、許容できないほどの濁りや沈殿物の発生といった問題が生じます。これを防ぐため、珪藻土トラップまたはろ過フィルターを珪藻土フィルターの下流に設置し、濁りのないビールタンクを維持しています。

### 背景

米国の大手醸造所でフィルターを珪藻土トラップ用途に用いる過程で、3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジの評価を実施しました。このフィルターは、世界中の醸造所で一般的に使用されている絶対ろ過精度5.0μmのポリプロピレン製デプスフィルターです。

多くの醸造所で用いられていた珪藻土トラップフィルターでは、いったんフィルターが詰まってしまうとその表面に大量の珪藻土が付着します。

しかしNT-Tシリーズのフィルターカートリッジでは、表面に過剰な量の珪藻土が付着せず、フィルターの寿命とビールの品質の両方において、非常に満足してお使い頂いております。

今回、NT-Tシリーズのフィルター設計の説明に加えて、珪藻土をどのように捕捉するのかその仕組みについて以下にご説明します。

なお、実験はビール70万~81万リットル（6000～7000バレル）を40インチサイズのフィルターを36本使用して珪藻土をろ過しています。

### 3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジの設計

NT-Tシリーズフィルターカートリッジは、醸造所で必要とされる高い珪藻土粒子捕捉能力に加え、安定した絶対ろ過精度をもつように設計されています。

このフィルターは独自のポリプロピレン不織布と流体を分散

させる機能を持つネットとを組み合わせ、それが複数層積み重なったデプスタイプの構造を持ちます。

さらに不織布上に流路となる孔を効果的に配置することで、外層から内層への流体の移動が大きくなり、より効率的なろ過を可能にします（図1）。

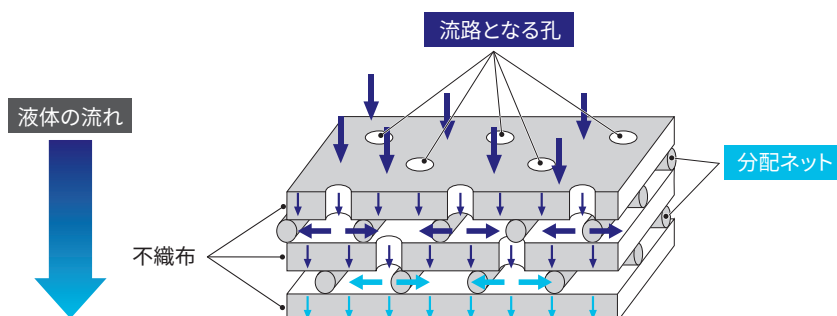


図1. 3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジの設計

## 3M™ Betapure™ NT-Tシリーズ フィルターカートリッジの設計 (続き)

NT-T シリーズのフィルターカートリッジは、大きく3つの異なる層が合わさった構造を持ち、それぞれの層はポリプロピレン不織布とネットから形成されています。(図2)。外側および中間層は、ポリプロピレン不織布と流体を分散させる機能を持ったネットとが交互に複数層巻き付けられています。

その各層では、流体の一部が不織布を通過する一方で、残りの流体は不織布上の孔を通して次の層へと直接送達されます。ネット層により、縦方向および横方向への流路が生じるため、流体の流れは一つ一つの層の表面を覆うように均等に分配されます。

NT-Tシリーズフィルターカートリッジは一般的な糸巻きフィルターや従来のメルトブローフィルターとは異なり、フィルターを使用している期間中、記載されている絶対ろ過精度を維持します。なお、NT-Tシリーズフィルターカートリッジの絶対ろ過精度は、ASTM規格に準拠したフィルター性能試験 (ASTM STP 975) によって規格されています。

絶対ろ過精度について、NT-Tシリーズフィルターカートリッジの初期のベータ値は1000となる粒子径でその除去効率は99.9%に相当します。加えて、珪藻土粒子の捕捉に伴いフィルターに差圧がかかった場合においても、フィルターを交換するまでの間は初期値である99.9%の除去効率を維持します。



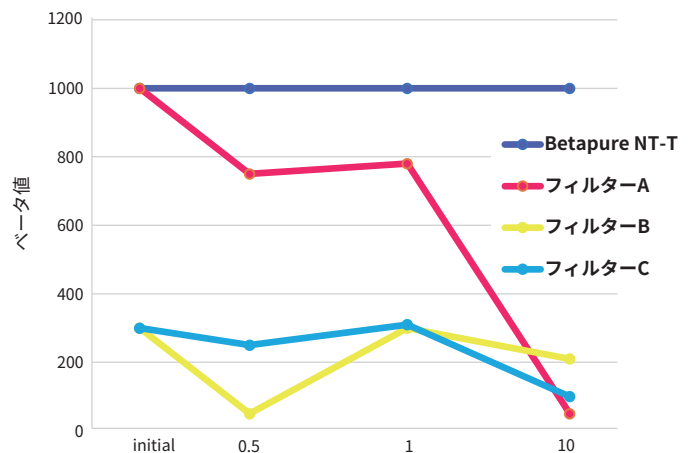
図2. 3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジの設計

フィルターは何か月もの間連続使用が可能かつ、ライフ期間終了まで一貫して用いることが要求されます。そのため、一度保持した珪藻土粒子をフィルター内に保持し続けることが、ろ過精度を維持する観点で非常に重要となります。しかし一般的な糸巻きまたはメルトブローフィルターでは、フィルター全体に差圧がかかるとそれ以前に保持していた粒子が離脱してしまうことが知られています。

一般的に粒子の離脱は、固定されていない糸やポリプロピレン繊維からなるフィルターで生じます。圧力が高くなると糸や繊維が移動、圧縮されて間隙が生じ、捕捉されていた粒子が濾液中に流出するためです。ビール製造では断続的に濁りが生じますが、その典型的な原因はこの捕捉粒子の離脱によるものです。そしてこのように濁りが生じたビールはほとんどの醸造所で廃棄となっています。

右グラフ1が示すように、3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジは、フィルター使用期間中は絶対ろ過精度を維持し、差圧が高くなった場合でも粒子を捕捉し続けます。これに対してフィルターA、B、Cでは差圧の上昇に伴いベータ値が低下します。差圧上昇に伴い捕捉された粒子の解離、または濾過効率の低下が生じるためです。

グラフ 1. 20μm フィルターのベータ値の比較



フィルターA：PE製メルトブローフィルター（コア・孔有）  
 フィルターB：PE製密度勾配型メルトブローフィルター（コア無し）  
 フィルターC：10 μm 糸巻きフィルター（公称ろか精度、綿製）

## 材料と試験方法

### 光学実体顕微鏡分析

米国の大手醸造所の初期試験で使用されたNT-Tシリーズフィルターカートリッジの1つを、カートリッジの長さに対して垂直となるように切断し、光学実体顕微鏡（SLM）を用いて分析しました。本試験で使用した14層構造のフィルターカートリッジの層のうち、2、5、10層目の表面写真を撮影しました（写真3B~3D）。前述したようにこのフィルターカートリッジは不織布とネットが交互に積層した構造となっています。

### SEM/EDS分析

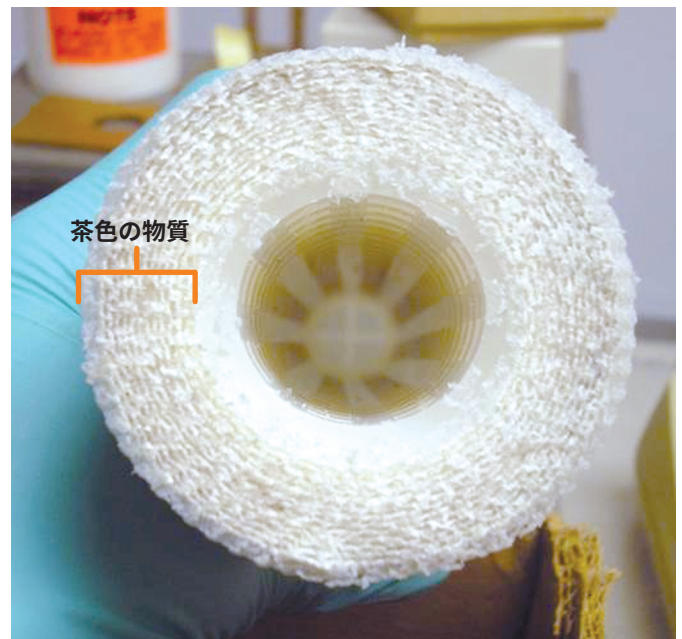
実体光顕微鏡で観察した後、不織布層 1, 4 および 6 からサンプルを無作為に選択し、走査型電子顕微鏡（SEM）で観察しました。試料は、スパッタコーターを用いて調製しています。コントロール（比較基準）として、未使用の3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジを準備し、同じ手順・方法で観察しました。

## 結果と考察：フィルターカートリッジの断面写真と捕捉物の分析

フィルターカートリッジの断面写真より、茶色の物質がカートリッジの深さ約2/3程度まで浸透していることが確認されました（図3A）。

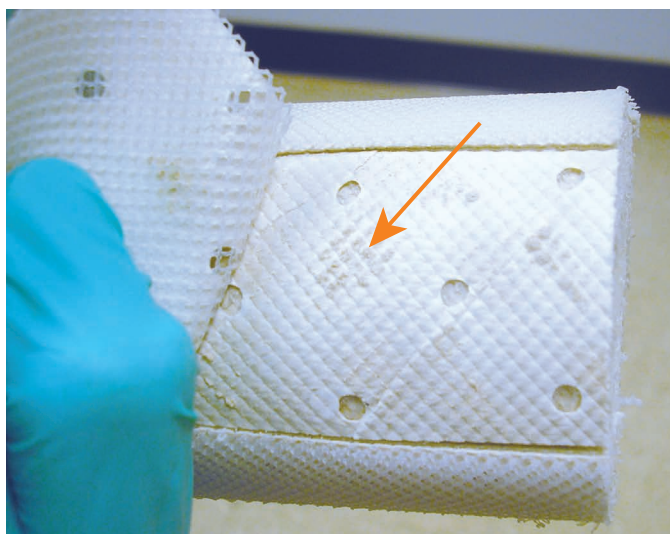
捕捉された物質は茶色の粉末状の物質で、最外層で最も多く、内層（下流中央）に向かって徐々に減少し、約10層目まで捕捉されていることが観察されました（図3A参照）。

それぞれの層の表面観察により、カートリッジ層 1, 4, 6 の上流側の表面を覆っているのは、主に茶色の微粒子であることが確認されました。この汚染物質はカートリッジの 4 層目および 6 層目よりも、最外層である 1 層目でより多く観測され、カートリッジの深さに応じて汚染物質のレベルが低下していることがわかりました（図3B~3D参照）。

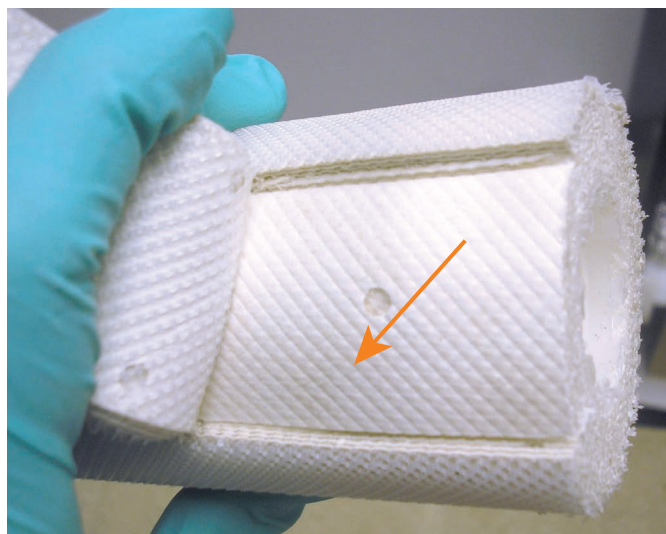


3A. 3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジの断面図

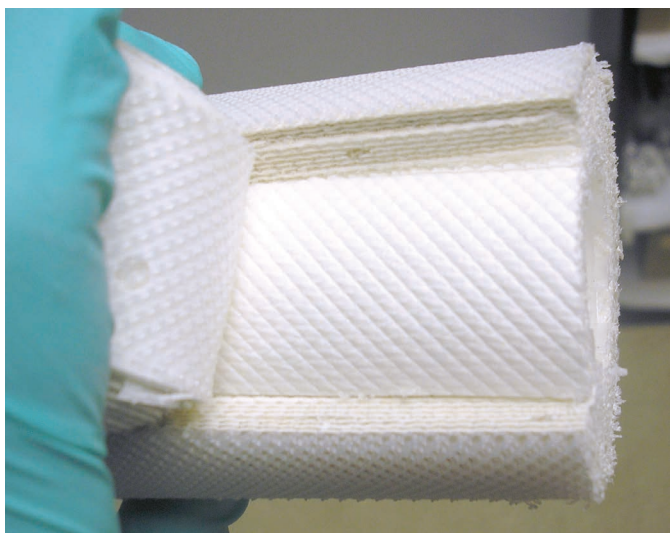
## 各層の表面観察：茶色粉状物質の捕捉



3B. 2層目：茶色の捕捉物がはっきりと観察される



3C. 5層目：2層目と比較して少量の捕捉物が観察される



3D. 10層目：視認できない程度の捕捉物

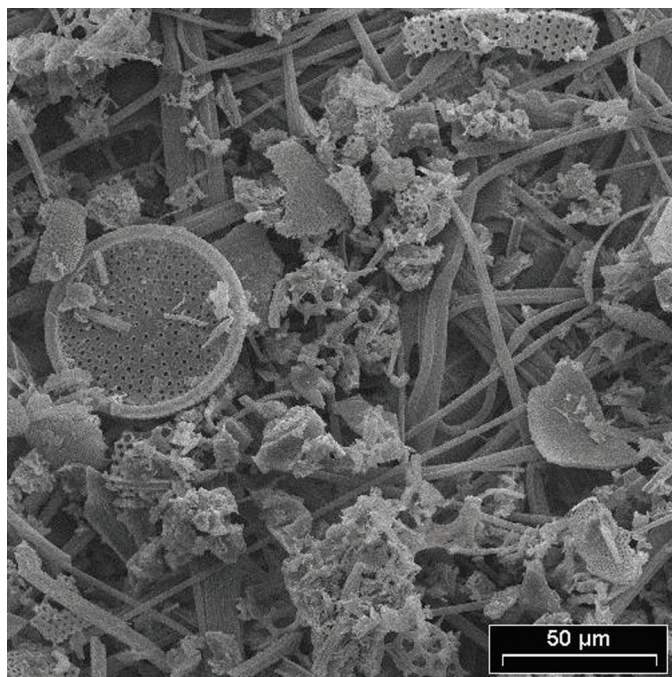
## SEM 試験

SEM 観察の結果、観察した三つの層すべてに見られる微粒子の大部分が珪藻土であることが判明しました（図4-6）。また高倍率での観察により、微生物の集合体を含むアモルファス状の汚染物質も観察されました（図4C-6C）。

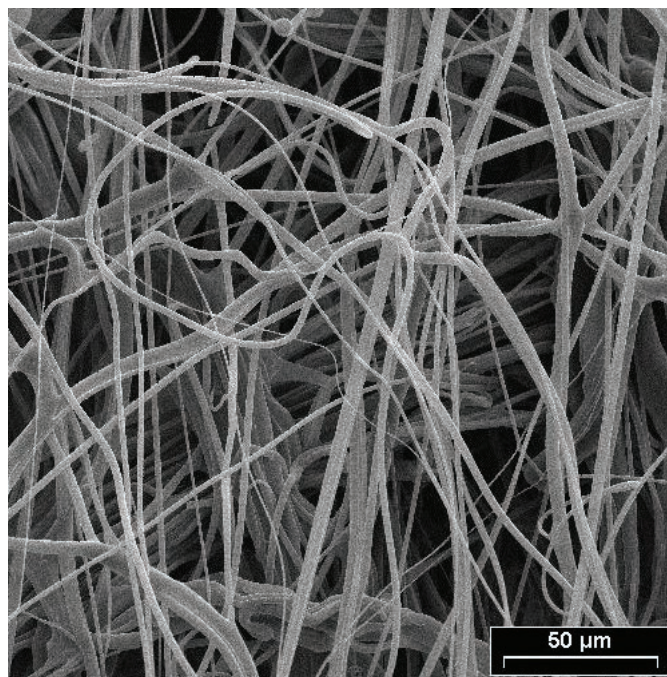


図 4

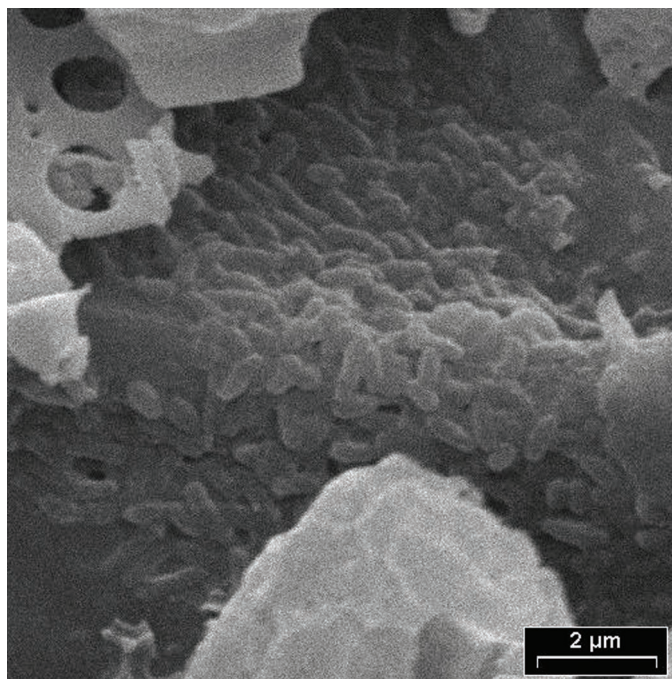
SEM 写真：第 1 層（最外層）の観察



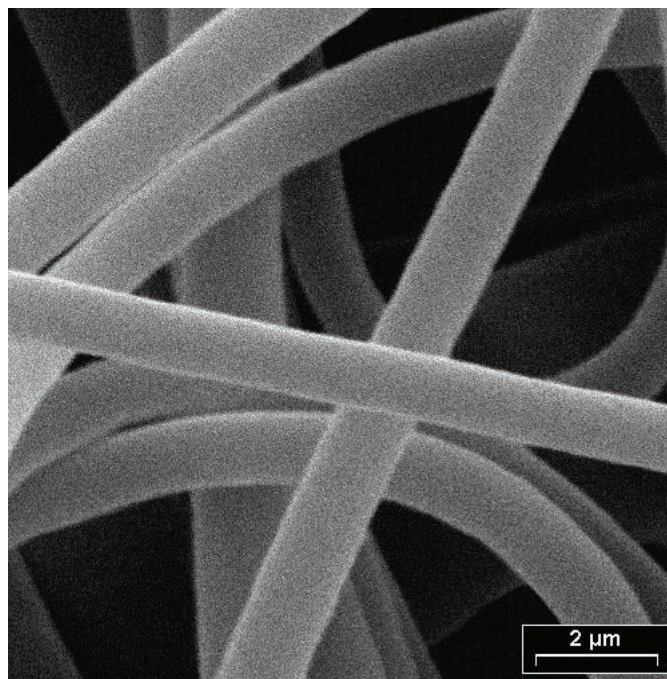
4A. 使用済みフィルターの 1 層目



4B. 未使用フィルターの 1 層目



4C. 使用済みフィルターの 1 層目（高倍率）：  
微生物を含むアモルファス状物質の観察

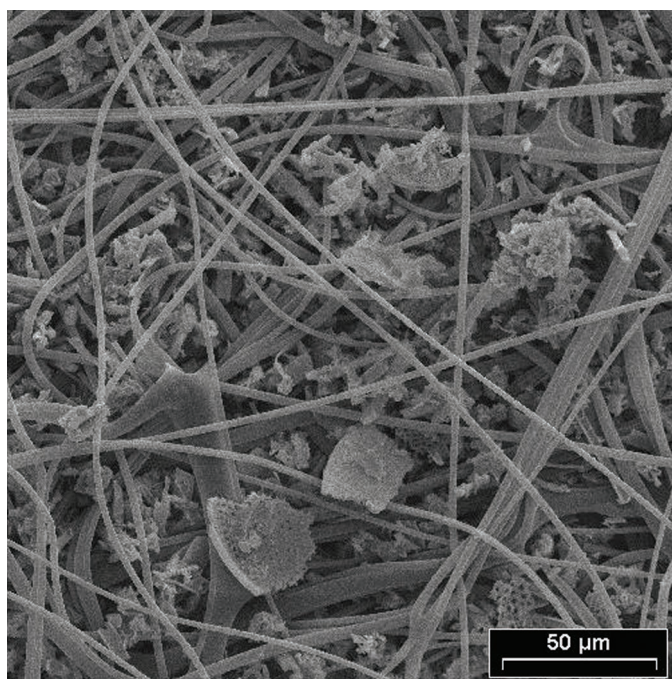


4D. 未使用フィルターの 1 層目（高倍率）

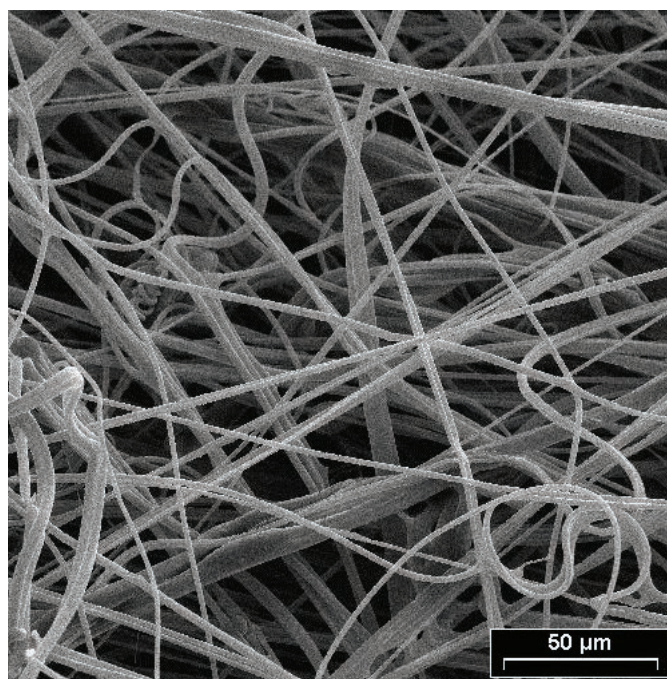


図 5

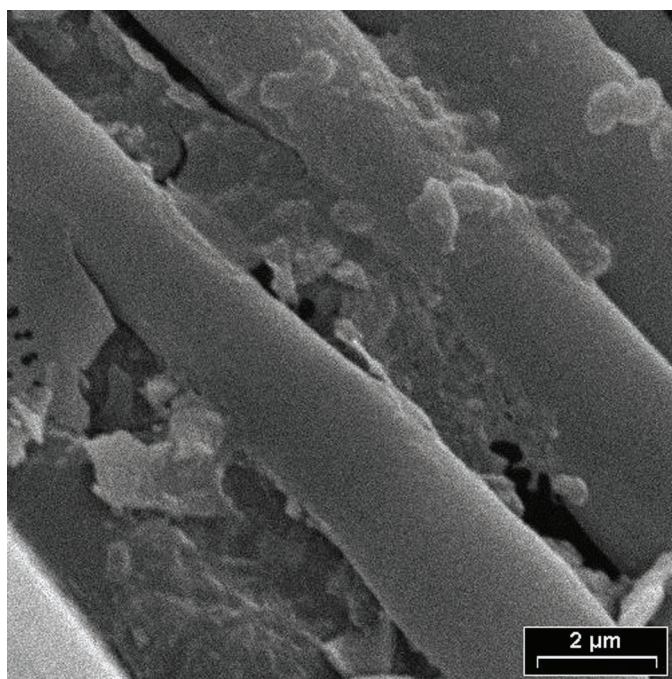
SEM 写真：第 4 層の観察



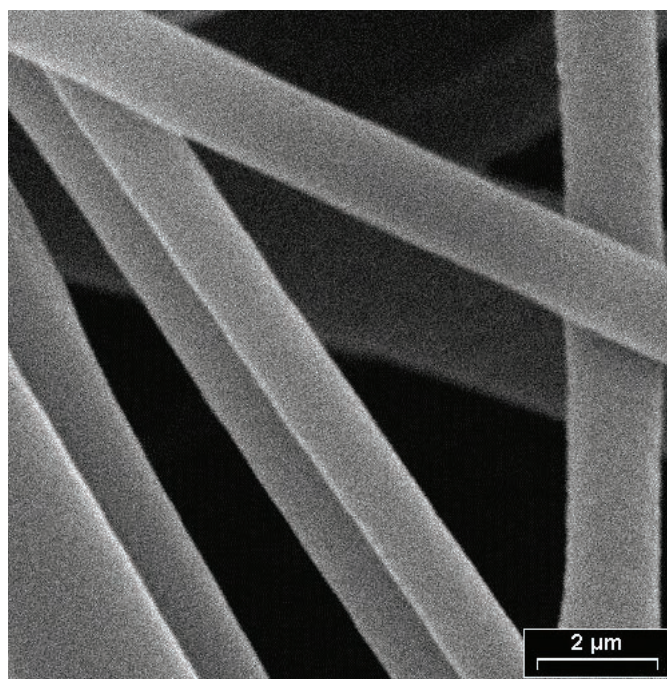
5A. 使用済みフィルターの第 4 層



5B. 未使用フィルターの第 4 層



5C. 使用済みフィルターの第 4 層 (高倍率)

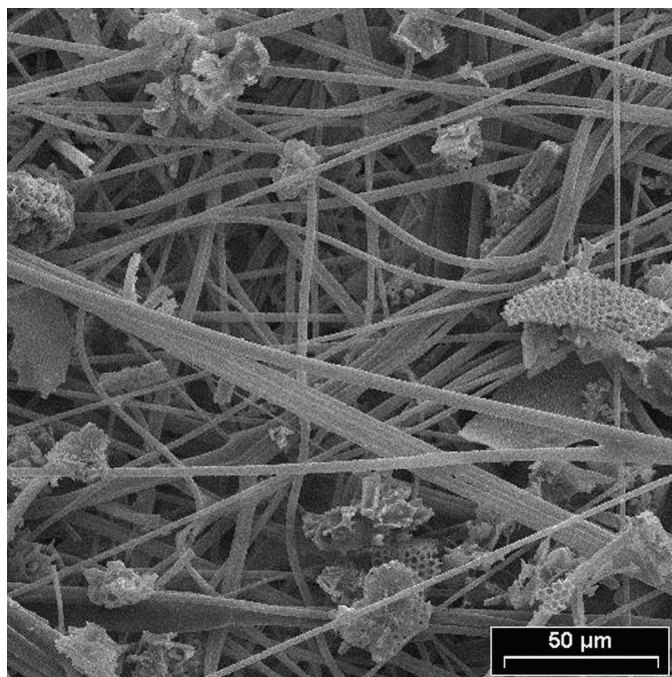


5D. 未使用フィルターの第 4 層 (高倍率)

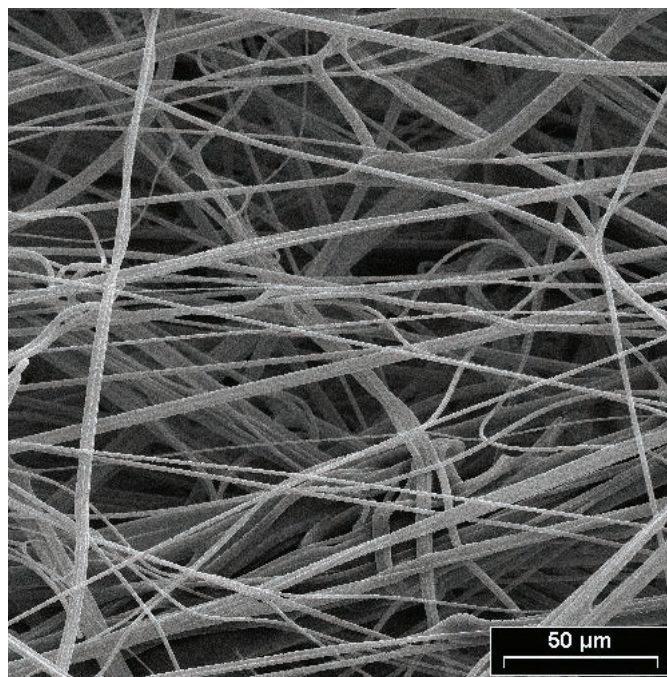


図 6

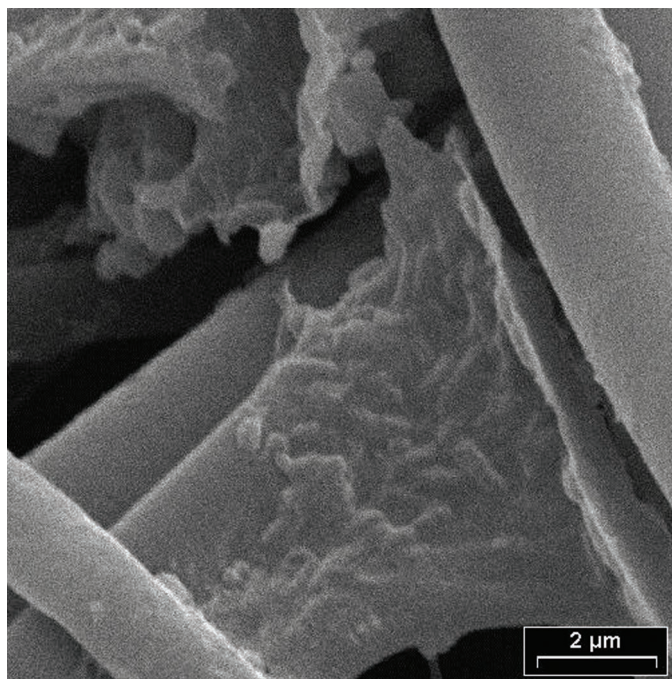
SEM 写真：第 6 層の観察



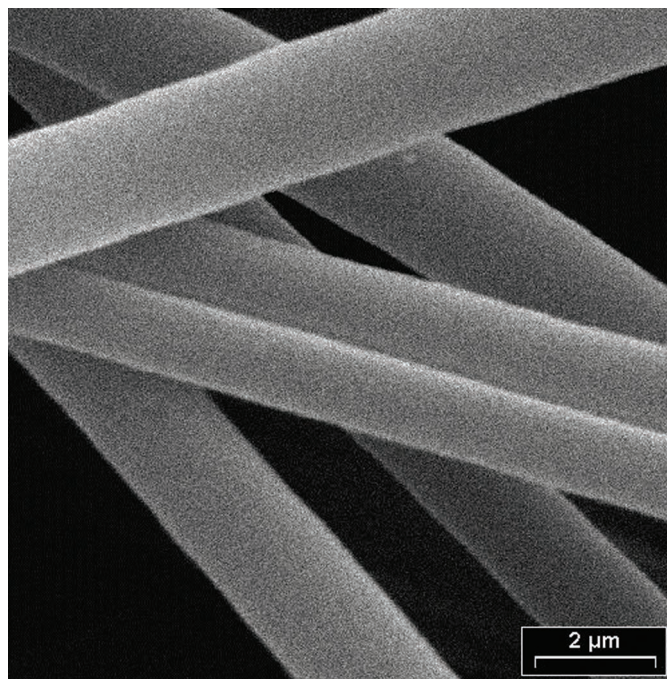
6A. 使用済みフィルターの第 6 層



6B. 未使用フィルターの第 6 層



6C. 使用済みフィルターの第 6 層 (高倍率)



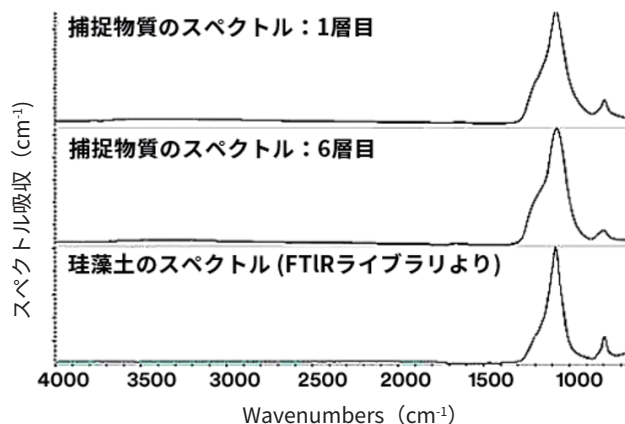
6D. 未使用フィルターの第 6 層 (高倍率)



## フーリエ変換赤外分光法 (FTIR)

フーリエ変換赤外分光法を測定したところ、NT-Tシリーズフィルターカートリッジのほとんどの層で発見された茶色の粉末状物質のスペクトルと珪藻土のスペクトルとが一致しました (図7)。これにより、フィルターで捕捉された茶色の粉末状物質が珪藻土粒子であると判明しました。(注：一番下のスペクトルはFTIRライブラリの珪藻土のリファレンスより引用)

図 7



## 結論

米国の大手醸造所の初期試験で使用された3M™ Betapure™ ポリプロピレン不織布デプスフィルターカートリッジ NT-Tシリーズの分析を行った結果、フィルターカートリッジ層上の捕捉物質は主に珪藻土であり、珪藻土トラップフィルターとして設置されたフィルターとしては予想通りの結果となりました。加えて、微生物の集合体を含むアモルファス状の汚染物質も検出されました。表面観察により、使用後のNT-Tシリーズフィルターカートリッジの約3分の2の層まで捕捉物質が浸透していることが確認されました。このようにフィルターカートリッジ内部のかかなりの深さの層まで汚染物質を浸透させ、カートリッジを最大限に利用することで、フィルターの寿命を延ばすことが可能となります。

一方で汚染物質がフィルターカートリッジの最内層まで貫通していないことから、選択されたNT-Tシリーズフィルターのグレードが、ビールに含まれていた珪藻土やカーボン粒子、その他の汚染物質を漏れなく確実に捕捉していることがわかりました。このように米国の大手醸造所において3M™ Betapure™ NT-Tシリーズフィルターカートリッジは、フィルターの寿命とビールの品質の両方の点で非常に満足してお使い頂いております。日本においてもクラフトビール等ビール醸造所においても評価検討をお勧めします。

仕様及び外観は予告なく変更されることがありますので、ご了承ください。本書に記載してある事項、技術上の資料並びに勧告はすべて、当社の信頼している実験に基づいていますが、その正確性若しくは完全性について絶対的な保証はしません。使用者は使用に先立って製品が自己の用途に適合するか否かを判断し、それに伴う危険と責任もすべて追うものとします。売主及び製造者の義務は不良であることが証明された製品を取り替えることだけであり、それ以外の責任はご容赦ください。本書に記載されていない事項若しくは勧告は、売主及び製造者の役員が署名した契約書によらない限りは当社は責任を負いません。

3M、Betapureは、3M社の商標です。



スリーエム ジャパン株式会社  
フィルター製品事業部

<http://www.3mcompany.jp/filter/>

Please Recycle. Printed in Japan.  
© 3M 2020. All Rights Reserved.  
SCED20-032(1020)

カスタマーコールセンター

製品のお問い合わせはナビダイヤルで

 **0570-011-211**

8:45～17:15 / 月～金 (土日祝年末年始は除く)