

FUJIFILM AstroPore 新規超大型マイクロフィルターカートリッジ およびハウジングの開発

杉浦 清仁*, 岡田 英孝*, 船津 英二**, 山本 剛司***

Development of New Extra-large Size Micro Filter Cartridges and Housings

Kiyohito SUGIURA*, Hidetaka OKADA*, Eiji FUNATSU**, and Tsuyoshi YAMAMOTO***

Abstract

FUJIFILM has manufactured and marketed micro filters, the AstroPore series, for about 30 years. Our micro filters are used in various manufacturing processes such as filtering miscellaneous germs from foods (draft beer etc.), manufacturing liquid crystal panels, etc. These days, various filters are used in the rapidly growing market of liquid crystal panels. With the size of panels (screens) becoming larger, a more productive filtration system is required to increase productivity during manufacturing processes. Although our proprietary technology applied to the production of asymmetric polysulfone membranes with an internal dense layer provides them with characteristics to fulfill most demands from the market by themselves, we developed and introduced the extra-large size micro filter cartridges and their housings to meet even stricter demands from production sites. This technology is summarized in this paper.

1. ミクロフィルターとは？

1.1 序

意外に思われるかもしれないが、「フィルター」は日常生活のあらゆる局面において利用されている。身近なところでは、水道の浄水器、エアコン、掃除機、空気清浄機、AV機器の換気口に取り付けられたゴミ取りフィルターなど、生活に密着したフィルターを見ることができ一方、最先端技術の現場では、腎臓の人工透析などの医療分野、ミネラルウォーター、生酒、生ビールなどの飲料分野、半導体産業をはじめとした、最近の電子工業分野など、さまざまな分野で用途・目的に応じたフィルターが利用されている。

当社は、およそ30年前に精密濾過フィルターの製造、

販売を開始した。特に、1987年に上市したポリスルホン（PSE）膜を利用したカートリッジフィルターは、その特徴的な濾過性能から、食品工業、精密機器工業、化学工業、電子工業をはじめとした、多くの生産現場においてユーザーにご好評いただいている。

特に、最近、電子工業分野においては、カートリッジフィルターに対してより精密な濾過を求める傾向が増してきており、この要求に対応可能なカートリッジフィルター開発が求められてきた。

1.2 ミクロフィルターカートリッジの分類と位置づけ

1.2.1 フィルターの分類：

「フィルター」と一口に言っても、その種類や用途は

本誌投稿論文（受理2008年1月25日）

* 富士フイルム（株）産業機材部
機能性材料グループ
〒107-0052 東京都港区赤坂9-7-3

* Advanced Materials Group
Industrial Products Division
FUJIFILM Corporation

Akasaka, Minato-Ku, Tokyo 107-0052, Japan

** 富士フイルム（株）
フラットパネルディスプレイ材料生産部
品質保証グループ
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

** Quality Assurance Group

Flat Panel Display Materials Production Division
FUJIFILM Corporation

Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

*** 富士フイルム（株）

フラットパネルディスプレイ材料生産部
技術グループ

〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

*** Technical Group

Flat Panel Display Materials Production Division
FUJIFILM Corporation

Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

多岐にわたるものである。通常、簡略に分類すると、以下のような分類が可能である。

- ①分散媒・溶媒による分類：
ガス（気体）用，液体用（さらに水系/薬液系）
- ②分散粒子・溶質のサイズによる分類：
粗濾過，精密濾過，限外濾過，ナノ濾過，逆浸透濾過
- ③形状による分類：
ディスク，カートリッジ，中空糸など

今回，当社のマイクロフィルターとして紹介するのは，

- ①水系を中心とした液体用，②精密濾過レベル，③カートリッジ，に分類されるものである。

まず，精密濾過の定義について説明する。微細な粒子を分離する方法としては，精密濾過，限外濾過，逆浸透濾過などがあるが，マイクロフィルターが該当するのは，上述の通り精密濾過である。精密濾過膜は，JIS K3802で“0.01～数 μm 程度の微粒子および微生物を濾過によって分離するために用いる膜”と定義される（Table 1）。

Table 1 Filters Classified by Sizes of Particles to be Filtered.

濾過方式	精密濾過 Micro Filtration	限外濾過 Ultra Filtration	逆浸透濾過 Reverse Osmosis
略称	MF	UF	RO
サイズ	数 μm ～0.01 μm	0.1 μm ～5nm	5nm以下
濾過するもの	微粒子、微生物	分子	イオン

1.2.2 精密濾過フィルターの細分類

精密濾過膜を分離する粒子サイズの観点から，さらに細分類した場合，その捕捉性と構造で，アブソリュートタイプ（Absolute＝絶対濾過タイプ）とノミナル濾過タイプ（Nominal＝公称濾過タイプ）に分類することができる。

アブソリュートタイプは，文字通り「定義サイズより大きな粒子を絶対，確実に補足する」タイプのフィルターである。その構造的な特徴としては，1枚の樹脂膜に小さな孔が多数開いた篩状の形状が一般的である。この篩の効果を利用し，孔のサイズより大きな濾別対象粒子を分離する（Fig. 1）。

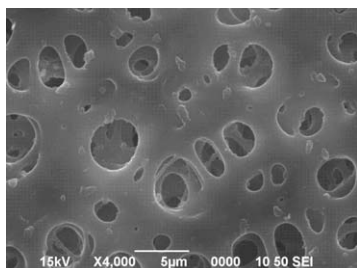


Fig. 1 Photo of the surface of standard absolute type (FUJIFILM PSE membrane).

一方，ノミナル濾過タイプは長繊維をからみ合わせた構造のフィルターである（Fig. 2）。ノミナルタイプのフィルターでは，フィルター繊維そのものの物理的サイズによる濾別のほか，疎水性相互作用，水素結合，イオン相互作用といった，吸着の効果を利用して，濾別対象粒子をフィルター繊維に吸着させ濾過する。このため，

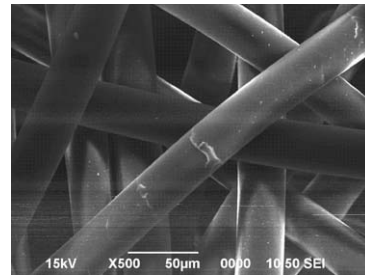


Fig. 2 Photo of the surface of standard nominal type (non-woven PP material).

必然的に濾過サイズの絶対値は粒子の種類，物性によっても異なり，濾過される粒子サイズ分布もアブソリュートタイプに比べて広いものとなる。

当社ポリスルホン（PSE）膜はアブソリュートタイプに属する膜であり，孔径以上の粒子を確実に捕捉することが可能である。当社はこれまでAstroPoreシリーズにおいて，この特徴的なPSE膜を用いたマイクロフィルターカートリッジを主力商材としてビジネスを進めてきた。

主に，水系の精密濾過用途において，後述する特異的な濾過性能からこれまでユーザーにご好評いただいている。

2. PSE 超大型カートリッジならびに専用ハウジング開発の背景

2.1 市場の状況

液晶パネルや半導体をはじめとした電子工業分野は成長著しく，年率10%規模での成長を続けている。これらの産業分野では技術の発展に伴い，より精密，かつクリーンな生産環境が求められており，製造プロセスの各工程において精密な洗浄が行なわれている。マイクロフィルターは，この精密洗浄工程において使用される超純水の浄化に広く用いられている。

最近では，特に，液晶パネル分野においてパネルの生産量増加や大型化が著しい。これは，ガラスサイズに応じて世代が区分されており，この5年ほどでガラスパネルの面積としては5倍以上の規模となっている（Table 2）。

Table 2 Change of Glass Sizes for Liquid Crystal Panels.

世代	ガラスサイズ	開始年度
G 4	6 8 0 × 8 8 0 (mm)	2 0 0 0 年
	7 3 0 × 9 2 0 (mm)	
G 5	1 0 0 0 × 1 2 0 0 (mm)	2 0 0 2 年
	1 1 0 0 × 1 3 0 0 (mm)	
G 6	1 5 0 0 × 1 8 5 0 (mm)	2 0 0 3 年
G 7	1 8 7 0 × 2 2 0 0 (mm)	2 0 0 5 年
G 8	2 2 0 0 × 2 4 0 0 (mm)	2 0 0 6 年
G 9	2 4 0 0 × 2 8 0 0 (mm)	2 0 0 7 年

さらに，G10（3000×3000（mm））と称する製造プラント計画も発表されており，大型化の動向は当分続くものと思われる。

この設備大型化に連動して、超純水の使用量も飛躍的に増大している。このため、超純水用の精密濾過カートリッジフィルターに対しては、求められる要求性能として、より高流量化が必須となってきた。特に、G7以降のパネル製造においては、洗浄水のフィルター1本当たりでの流量レベルとして、200 l/min以上の高流量が必要である。一方、同時に、確実なパーティクル（微小サイズのゴミ）の捕捉性を兼ね備えた精密濾過カートリッジフィルターが求められている。

2.2 既存精密カートリッジフィルターの問題点

G7以降の液晶パネル製造工程が精密濾過カートリッジフィルターに要求している、これまでにない高流量と確実な捕捉性に対し、単独で対応できるマイクロフィルターはこれまで存在しなかった。

これまでの当社マイクロフィルターカートリッジのラインナップにおいては、大型高流量PSEカートリッジXLタイプが最高流量性能を有するが、その数値は150 l/minであり、上記目標を単独でクリアできない。また、XLタイプに対応する他社大型カートリッジにおいても、同様に単独で200 l/minに対応できるマイクロフィルターカートリッジはなく、G7以降のパネル工程の要求を満たすことが不可能であった (Fig. 3)。

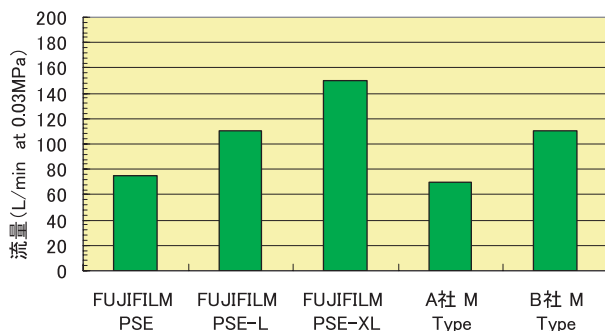


Fig. 3 Flow rate characteristics of micro filter cartridges.

一方、さらに、2007年から稼働スタートしたG8, G9の工程においては、さらなる高流量が必須であり、スペックとして300 l/minの高流量が望まれている。

製造工程を考えた場合、フィルターカートリッジを複数本併用すると、ハウジングの大型化（設置スペースの無駄）、交換の手間が増加するなど、デメリットが大きく、これまで以上の大型フィルターの開発が必須であった。われわれはこの観点から、G7以降の液晶パネル製造ラインの要求性能に単独で対応可能な、超大型マイクロフィルターカートリッジ、ならびに専用ハウジングの開発に着手した。

3. 超大型カートリッジの開発

3.1 AstroPore シリーズ PSE 膜の技術的特長

まず、AstroPore シリーズ PSE 膜を使用した、ミクロ

フィルターカートリッジの特長的濾過性能について簡単に説明する。PSE メンブレン膜の材質は、下記に示すポリスルホンである (Fig. 4)。

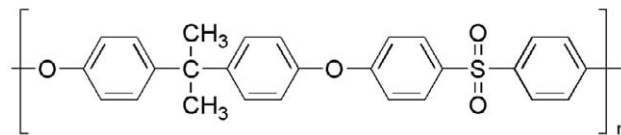


Fig. 4 Structural formula of polysulfone.

当社のマイクロフィルターはこのポリマーを素材とし、相分離法を用いて作られた多孔質膜である。当社独自の製膜技術により、緻密かつ特異的な細孔分布を有するメンブレン膜を形成している。当社 AstroPore シリーズ PSE 膜はその細孔分布に特徴を有する (Fig. 5)。

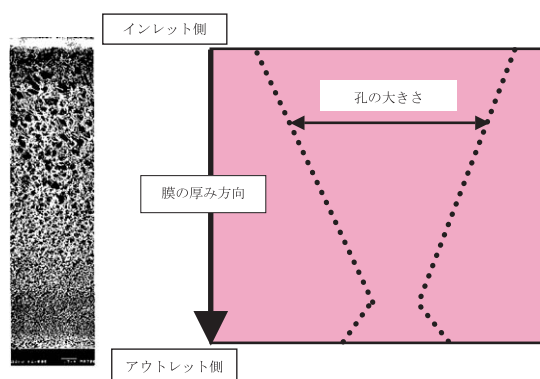


Fig. 5 Photo of cross section and schematic diagram of pore distribution of the AstroPore series' PSE membrane.

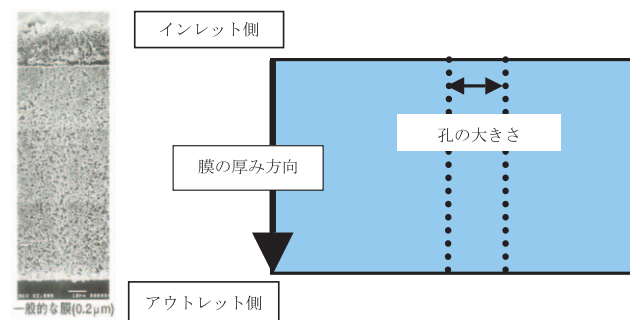


Fig. 6 Photo of cross section and schematic diagram of pore distribution of an ordinary micro filter membrane (the same pore diameter).

AstroPore シリーズ PSE 膜においては、多孔質層における細孔のサイズが非対称に分布していることが最大の特徴である。図に示すように、水などの流体が流れ込むインレット側の孔径が大きく、内部に行くに従って徐々に細孔のサイズが小さくなる。特に、濾過精度を決定する有効濾過部位が内部に緻密層として形成されているため、以下の特異的な性能を発現可能である。

①優れた流量特性

ポアズイユの法則*から導かれるように、有効濾過部位はパスの短い緻密層として存在する。このため、同一孔径分布の膜よりも、小さな差圧でより多くの

流体を流すことが可能となる。

*ポアズイユの法則： $V = (\pi Pr^4) / (8\eta l)$
 V = 透過量, P = 圧力, r = 孔径, η = 粘度,
 l = 孔の長さ

② 確実な捕捉性

緻密層の細孔径分布を Fig. 7 に示す。

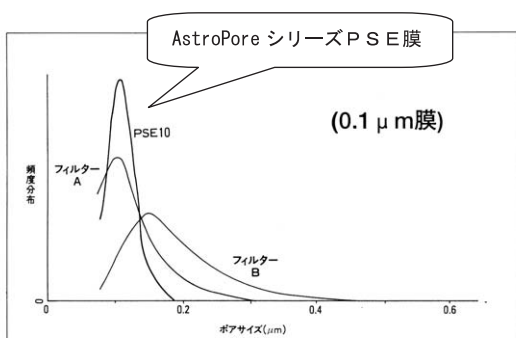


Fig. 7 Comparison of pore distribution at 0.1 μm membrane.

非常に孔径分布がシャープであり、確実なサイズ別の濾過が可能である。

③ 非常に長いカートリッジ寿命

均一サイズ分布のメンブレン膜では緻密層がインレット側表面にあるため、表面がすぐ閉塞する。AstroPore シリーズメンブレン膜では、大サイズ粒子は大孔径部に捕捉するなど、サイズ別に膜深さ方向に捕捉可能である。アウトレット側が緻密層保護の役割を有し、力学的なストレスに強い。

3.2 カートリッジフィルターのスケールアップ

カートリッジフィルターの高流量化をはかる方法としては、カートリッジのサイズアップと使用膜面積を大きくすることが一般的である。新規フィルター膜を開発する手法もあったが、FUJIFILM AstroPore シリーズ PSE 膜は非常に特徴的で優れた膜であるので、この優位性を最大限に発揮するための、カートリッジのサイズアップ方法と使用面積アップ方法を検討することを選択した。

上記のように、AstroPore シリーズ PSE 膜は高い濾過性、高流量、濾過寿命、耐久性の面で非常に優れたものとなっている。

3.2.1 超大型カートリッジの開発

通常、カートリッジの大型化を考える場合、「2乗3乗の法則」が問題となる。カートリッジを大型化する目的は濾過面積をできる限り大きくすることであるが、「2乗3乗の法則」に従い、濾過面積よりも全体の体積や重量がより大型化してしまう。

カートリッジサイズについては、ユーザーの要求に従って設計を行なった。一般的に、圧力などの条件が一定の場合、濾過膜を透過する流体の体積は濾過膜の面積に比例する。このサイズにおいて、いかに有効な濾過面積を確保し、かつ高流量を達成するかが課題となった。

今回の検討では、使用する PSE 膜の有効濾過面積を増すため、カートリッジフィルターに収納するフィルター

膜の加工形状に着目した。通常、精密濾過カートリッジフィルターでは、濾材を最低上下一枚ずつのサポート材の間に挟み、これをブリーツ状に加工して、より多くの膜面積の濾材をカートリッジ中に収納する (Fig. 8)。今回は、このブリーツ技術に検討を加え、折る山の高さを従来品の2倍程度に高くする手法を採用した。

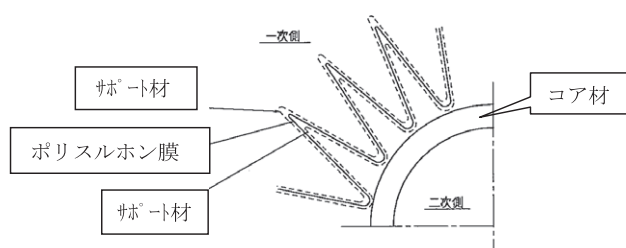


Fig. 8 Rough structure of cartridge filter.

一般的に、山の高さを高くする場合、フィルターをブリーツ状にする工程で折りの形状が不安定になる問題が起きる。われわれは、以下の検討により、安定、かつ均一なブリーツ技術を確立することに成功した。

サポート材の選定

濾材、サポート材搬送制御の精度向上

ブリーツ加工における工程条件の最適化

Table 3 に、今回開発に成功した、高流量、かつコンパクトな超大型マイクロフィルターカートリッジ PSE-UXL/SXL のラインナップと代表性能をまとめた。目標通り、単独フィルターカートリッジにおいて、200ℓ/min 以上の高流量が達成できた。

Table 3 Specifications of Extra-Large Size Micro Filter Cartridges.

製品タイプ	PSE-SXL	PSE-UXL
全長 (mm)	273	273
外径 (mm)	130	130
孔径 (μm)	0.1、0.2、0.45、1.2	
流量 (L/min)*1	200	300

流量*1: PSE-SXL/UXL は孔径 0.2 μm カートリッジフィルターに差圧 0.03MPa の条件で水を流した時の初期流量 (代表値)

3.2.2 超大型カートリッジ用ハウジングの開発

超大型カートリッジに対応するハウジングも同時に開発した。ラインナップを Table 4 に示す。

Table 4 Lineup of Housings for Large-Size Cartridges.

製品タイプ	超大型樹脂製ハウジング FPSUXE1	超大型金属製ハウジング FS6LJM1-150FET1
設計圧力	最大 0.49MPa	最大 0.97MPa
設計温度	最大 50℃	最大 100℃
材質	本体: ポリプロピレン	本体: SUS316L
配管系	40A, 50A, 65A	50A

通常の水系用としては、環境問題も配慮して本体をポリプロピレン製とした。また、装置の汎用性を高めるた

め、継ぎ手は超高流量の65Aから通常の大流量配管用の50A、40Aまで3種類をそろえた。超高流量に対応可能とするため、耐圧設計を特に十分考慮し、0.49MPaまでの耐圧性を付与した。

高温・高圧ラインへの対応、ならびに薬液対応として同時にステンレスハウジングもそろえた。こちらの素材は耐久性に優れたSUS316Lとし、最新の設備にも対応可能な設計とした。



Fig. 9 Extra-large size micro filter cartridge PSE-UXL.



Fig. 10 Housings for extra-large size cartridges (left-hand side: extra-large size resinous housing, right-hand side : extra-large size metal housing).

4. おわりに

本報告で紹介している超大型マイクロフィルターカートリッジおよびハウジングは、当社 AstroPore シリーズ PSE膜の優れた流量特性、捕捉性、長寿命特性を最大限に発揮した製品である。G7以降の次世代液晶パネル製造工程において、驚異的な流量特性での濾過性能を発現可能である。

末筆ながら、本製品化を進める上でご指導いただいた方々、ご協力いただいた関係各位すべてに感謝いたします。

参考文献

- 1) 佐々木純, 成尾匡一. 富士フイルム (株). 微孔性膜. 特公平4-68966. 1992-11-4.
- 2) JIS K3802 膜用語.

(本報告中にある“AstroPore”, “FUJIFILM”は、富士フイルム (株) の登録商標です。)