

特集 環境調和型オイルフィルタの開発とその生産システム*

Development of Environment-Conscious Oil Filter and Its Production System

中久木清

Kiyoshi NAKAKUKI

土井清司

Kiyoshi DOI

花井嶺郎

Mineo HANAI

杉浦正人

Masahito SUGIURA

原田浩史

Hiroshi HARADA

前川武治

Takeharu MAEKAWA

Oil filter for automobile has relatively short lifetime, average one year, and the weight of those disposals has reached approximately 2.5 million tons per year. Those were treated as industrial wastes and the environmental impact has not been negligible. To improve the environmental performance, we analyzed the conventional oil filter by using Life Cycle Assessment (LCA). As a result, we found the fact that the level of the environmental load was higher not only in disposal process but also in manufacturing process including material refinement. Based on the analysis, we developed the new oil filter and its production system from the beginning so that the total environmental load could be minimized.

The structure of the new product is drastically changed. Filter element is directly formed from the fiber materials to the finished shape. At the same time, part counts are reduced down to possible minimum numbers and thermal recycle has become possible by eliminating metallic part. In the production system, the direct 3D-forming technology has been developed in-house to realize the new 3D-formed oil filter.

At the same time, we aimed at the ultimate level of environment-free plant by adopting all possible technologies in energy saving and zero emission.

This report introduces these technologies realizing environment-conscious “3D-formed oil filter” and its new production system.

Key words : 3D-formed oil filter, Life Cycle Assessment (LCA), Concurrent development, Fiber reuse system, Water-soluble phenol resin, Environmental load point, Zero emission

1. はじめに

産業における「モノづくり」は、“豊かさ”をもたらす一方で、枯渇性資源の大量消費と、その排出物・廃棄物がもたらす地球環境への影響が大きな社会問題となっている。

オイルフィルタは、紙と鉄、ゴムで構成された比較的簡単な製品であり、Fig.1に示すようにエンジンオイル中のダストを捕集する機能を持つ。使用後のオイルフィルタはディーラや部品販売店で交換され、使用済み品の回収は比較的容易であるものの、金属ケースから内部のフィルタエレメントを分離しても、金属や燃焼により有害物発生のある恐れがある化学品が使われるため、その大半は産業廃棄物として埋立て処理されている。また平均寿命が1年と短いため、世界で毎年10億個生産消費され、製造工程で発生する廃棄物や使用済み製品は、産業廃棄物として毎年250万トンも埋立て処理されおり、地球環境への影響が憂慮される。そこで、環境の視点からオイルフィルタを根本的に見直

し、消費・廃棄型製品から環境調和型製品へ転換することにより、業界スタンダードとなるオイルフィルタを世に先駆けて開発する必要があると考えた。

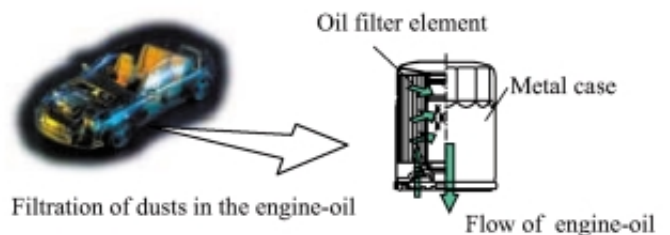


Fig.1 Product overview

まずオイルフィルタのライフサイクルアセスメント(LCA)を実施し、環境問題の所在を明確化した。評価の結果、廃棄プロセスだけではなく、調達する原材料の生成プロセスと製品製造プロセスでの環境負荷が特に高いことが判明した。そこで、ライフサイクル全体を見渡した製品と生産システムの開発を企画立案段階から考える環境コンカレント活動に取り組んだ。

* 2002年2月28日 原稿受理

開発した製品は、原材料（濾紙を形成する繊維）からフィルタエレメントをダイレクトにつくるといった従来にない画期的な構造であり、この構造と加工法から開発品を“成形体オイルフィルタ”と命名した。また製品は、使用後の分解性を考慮して部品点数を極限まで減らし、また、金属を使わずサーマルリサイクルが可能な構造とした。

生産システムでは、製品を成立させるため、製紙工場の紙すき工程を取り込み、新たに工程開発を行う一方、省エネルギー化・ゼロエミッション化に取り組み、環境面で究極レベルを目標とした。

この結果、従来製品と比較し環境負荷量として、CO₂換算で50%の低減を達成することができた。本製品は1998年より当社の高棚工場にて生産を開始し、現在、豊田紡織刈谷工場に移設して累計8,000万台を市場へ送り出している。

2. 開発コンセプト

LCAは製品のライフサイクル全般にわたる環境負荷量を定量把握する手法として注目されており、エコインディケータ¹⁾、エコスケアシティ²⁾、EPS³⁾、パネル法⁴⁾などが知られているが、今回は、その中でも、工業製品を原材料から廃棄まで比較的バランス良く評価できるパネル法を使用した。従来品のLCA実施結果をFig.2に示す。（[ELP/kg]は単位重量当りの環境負荷量を表す。）

LCA結果から浮き彫りにされる従来品の問題点は、原材料生成プロセスにおいて、材料・部品メーカーでの資源消費および大気・水質への環境負荷量が多い点であり（その最大が製紙工程である）、材料使用量、部品数削減など、製品構造を根本的に変更する必要があることを示唆している。また、製造プロセスにおいては、当社工程（濾紙折曲げ、接着、硬化工程）でのエネルギー消費、および工場からの排出物（有害物質）の影響が支配的であり、抜本的な工程変更の必要性を示している。なお、製品使用時の環境負荷量が軽微

であることは、使用時に排出物が発生しないという製品特性によるものである。廃棄プロセスの環境負荷量は廃棄物処理業者の埋立て処理負荷に起因する。

すなわち、ライフサイクル全体の環境負荷量を低減するには、廃棄処理を念頭におくだけでなく、製品構造、製造プロセスまで踏み込んだ抜本的な変更が不可欠である。このため、製品の企画・開発段階から製品設計・生産技術が一体となったコンカレント活動を推進してきた。この環境調和型オイルフィルタとその生産システムの目指す姿をFig.3に示す。このようにライフサイクル全体のトータル環境負荷量を最小化する“成形体オイルフィルタ”を開発するとともに、これを製造するにふさわしい究極の環境工場を実現することを開発コンセプトとした。なお、従来製品と比較してトータル環境負荷量の半減以上を目標とした。

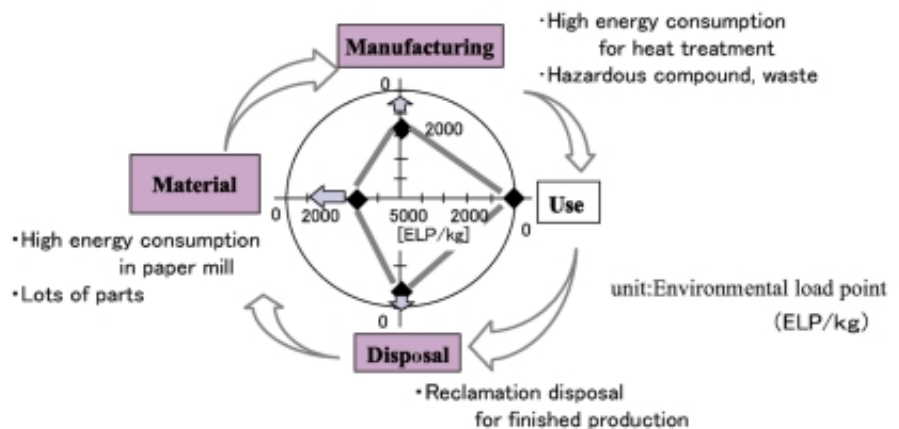


Fig.2 Life Cycle Assessment (LCA) of the conventional oil filter (Panel method)

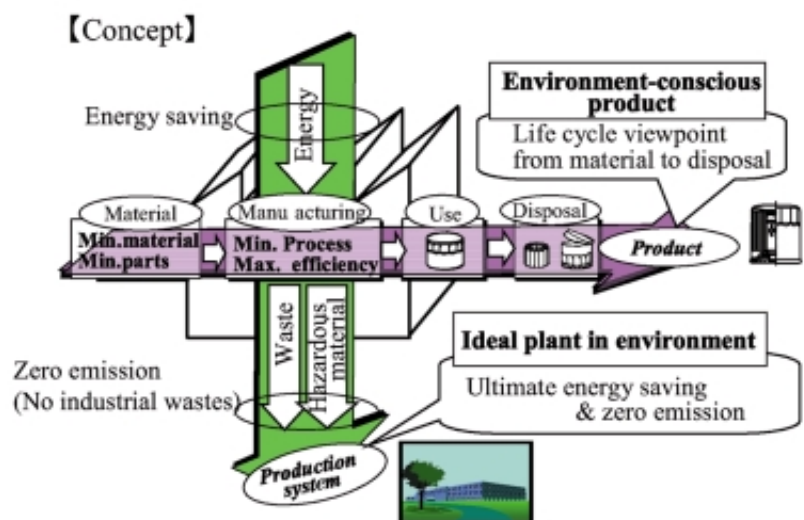


Fig.3 Environmental concurrent development of oil filter and its production system

3. 開発結果

環境調和型オイルフィルタ開発の着眼は、エレメント製造工程において、中間品（濾紙）を使わず、繊維（材料）から直接成形するところにある。従来のエレメントは濾紙を折り曲げて鉄芯に接着する構造だったが、今回は、水に混合した繊維を直接ナイロンコア上へ吸引、堆積させながら所定の3次元形状に成形させるという構造・加工法とした。この製品構造と加工法は、環境対応を盛り込んだ設計・生産技術同時開発活動（環境コンカレント活動）で整合性をとりながら開発した。その結果をFig.4に示す。製品ライフサイクルの各プロセスにおいて、盛り込まれた環境対応技術は以下のとおりである。

- 原材料生成** 材料を再生可能資源に転換した上で、原材料生成時のエネルギーや廃棄物をミニマムとするため、部品点数や材料種類をミニマム化。
(4種6部品 2種2部品)
- 製造** 製品の要求する特性（形状、性能等）を満足させ、立体濾材形状を1ショットでつくる。
(製造工程を16→4工程化)
- 使用** 廃棄エレメントのサーマルリサイクルを可能にする金属レス化と合せ、製品を軽量化。

廃棄 焼却時に有害物を出さない材料を採用することで、サーマルリサイクルを可能にする。

生産システムにおいては、“成形体オイルフィルタ”を成立させる濾材堆積技術（紙すき工法）を確立すると共に、工場に出入りする三つの要素、つまり、エネルギーの半減、工程内廃棄物と有害物質の排出ゼロ化に取り組んだ。具体的な内容は以下のとおりである。

エネルギー エネルギー使用量の大きな工程（加熱工程）を削減した上で、残った熱処理工程のエネルギー効率の向上を図る。
(加熱工程を8→1工程化)

工程内廃棄物 投入する原材料を使い尽くすことにトライし（従来の材料歩留りは72%）、工程で使い尽くせなかった原材料は、使い切るためのリユース技術を開発する。
(繊維とフェノール材)

有害物質 従来品においては、材料に含まれる有機溶剤揮発分や熱硬化時に発生する有害なホルムアルデヒド等は多量の水を使って回収し、化学工場へ搬送の上、分解処理していた。有害物質を極力発生させない新規材料を開発し、それでも発生する有害物質は工場外へ漏らさないよう回収・処理を徹底する。

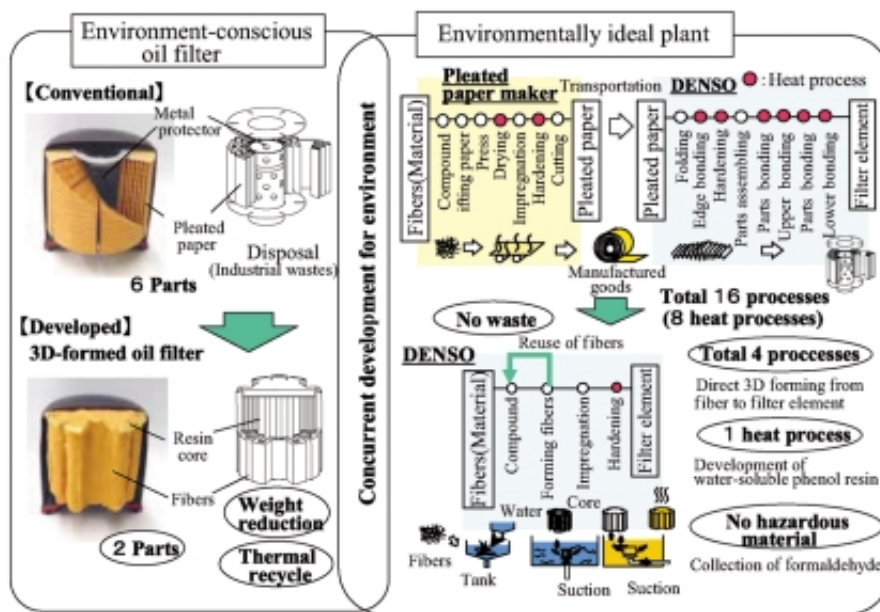


Fig.4 Development results of concurrent works

以下において、本開発の主要テーマである、製品成立技術の開発（4章）、繊維リユース技術の開発（5章）、水分散性フェノール材の開発（6章）について詳細を述べる。

4．製品成立技術の開発

フィルタエレメントの機能である濾過性能は、細かなダストをどれだけ捕捉できるかという“濾過効率”とエンジンオイルの流れの抵抗力である“圧力損失”で表される。オイルフィルタとして機能するためには、これらの相反する特性を同時に満足する必要がある。

従来の濾紙タイプは、濾紙の表面で濾過を行う方式（面積型）である。濾過性能を満足するため、Fig.5に示すように濾紙中の繊維同士が形成する網状の目（以下、濾目と呼ぶ）を、プレス加工などにより繊維間隔を狭めて細かくし、濾過効率を確保している。また濾紙面積を広くすることにより、濾目の大きさを変えずにエンジンオイルの抵抗を少なくし、圧力損失との両立を図っている。そして、製品化するために、濾紙を複雑に折り曲げて、規定サイズの鉄製のケースに収納する。

それに対して、成形体オイルフィルタは、繊維を単に積層した状態で製品化するため、その厚みも濾目も大きなものとなる。またFig.5に示すように、繊維同士が間隔を持ち、空間的に濾目を形成するものとなる。この成形体フィルタは、粘度の高いエンジンオイルを濾過するために、“圧力損失”を格段に下げた上で、“濾過効率”との両立を図る構造設計が必要である。今回は、従来品と同等の基本特性を確保しようと取り組んだ。

4.1 オイルフィルタ基本性能の確保

単に繊維をコア上へ積層するだけでは、Fig.6に示すように濾過効率も圧力損失も満足することができない。そこで、以下の3技術を開発することにより成形体オイルフィルタを成立させることができた。

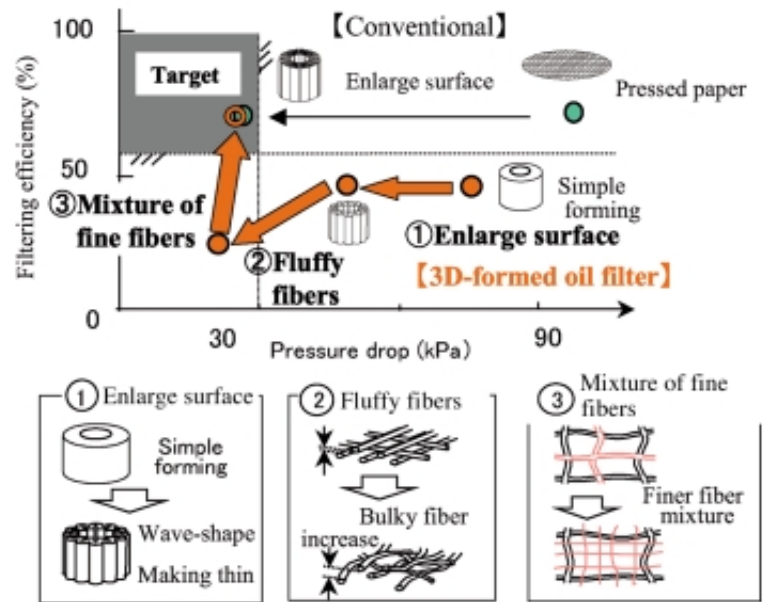


Fig.6 Three methods of achieving both specifications

(1) 表面の波形化 (Fig6.)

まず従来品と同じく、オイルの通過する表面を波形状にして面積を多くし、オイルの流れ抵抗を低減した。

(2) 高繊維の開発 (Fig6.)

繊維は繊維径を隙間として、積層されるため、繊維自体ふっくらとする高繊維の開発により、繊維間隔を広げて圧力損失を狙い領域まで向上させた。

なお、この繊維は北米産で、紙おむつに用いられる繊維と工法をベースとしている。

(3) 微細繊維の混抄

(Fig6.)

圧力損失を損なわないで濾過効率を向上させるため、骨格となる繊維の一部を同体積の微細繊維に置き換えた。径は骨格繊維の1/10でオイルの流れ抵抗を増やすことなく、濾目を増やし効率を上げることができた。

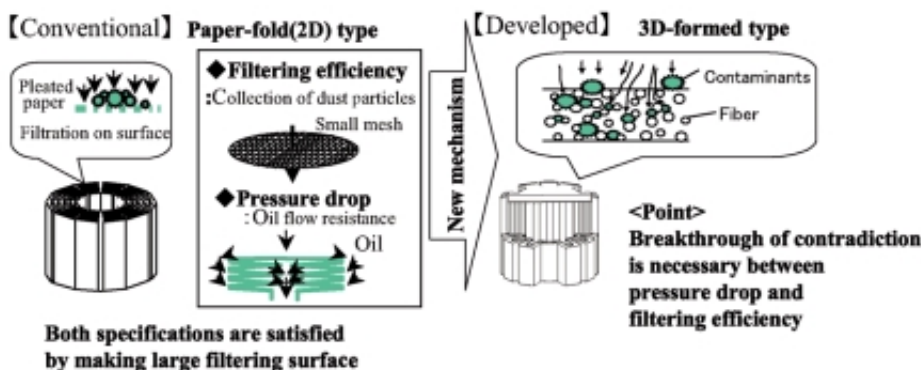


Fig.5 Comparison of filtering mechanism

4.2 成形体オイルフィルタ紙すき技術

均一な厚みの濾過層を形成するためには、吸引開始から終了までのコアの各部位における吸引力を、均一にする必要がある。そこで波形状になった表面に対して、Fig.7に示すように、外形矢と呼ぶ整流板を吸引の途中で挿入し、波形状の山部に向け、スラリー（水に繊維と微細繊維を混合したもの）の流れを、徐々に変化させる方法を開発した。この方法は、すでに積層された繊維が抵抗となり、抵抗の少ないところに向かって流れが自然に変化するという自己修正機能を利用したものである。

実際の吸引成形プロセスは、Fig.7のように

- ステップ1：流れ抵抗の少ない波形谷部に、繊維が積層し始める。
 - ステップ2：谷部に外形矢を挿入し、山部にスラリーの流れをシフトし、山部へ繊維を積層する。
 - ステップ3：山部の頂上まで繊維を積層し吸引を完了する。
 - ステップ4：山部を定寸にて押さえ、空隙率（繊維の間隔）を安定化させる。
- となっている。

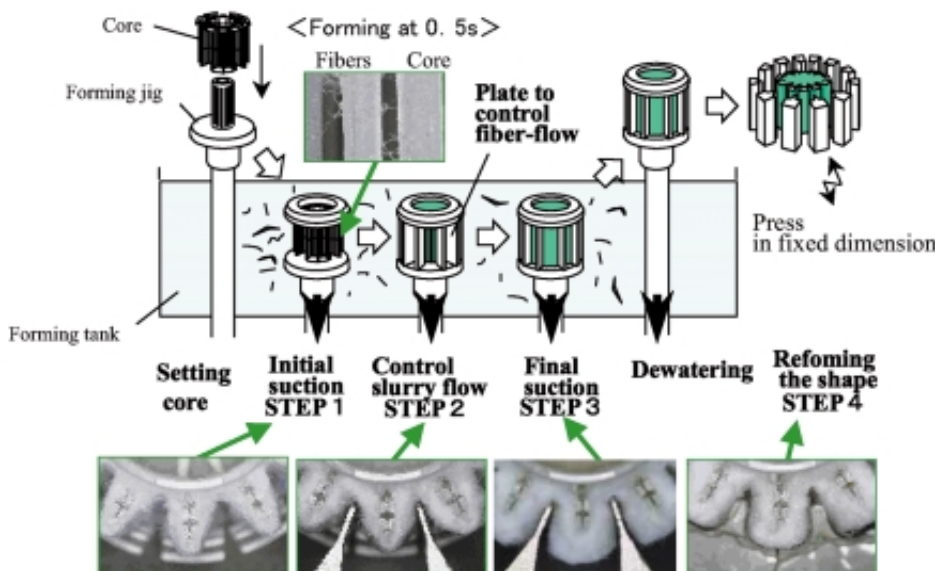


Fig.7 Movement in 3D-forming process

また高さ方向に着目すると、Fig.8に示すように、吸引口位置を中心に距離とともに吸引力が小さくなるため、吸引口に近い部位ほど厚く形成される。そこで吸引用スリット孔を吸引口より遠くなるほど、スリット幅を広くする段付き構造にしている。これにより高さ方向の吸引力の均一化を図った。

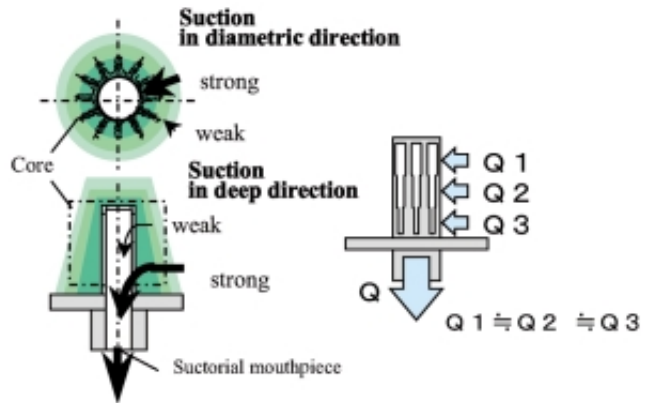


Fig.8 Suctorial Jig for forming

5. 繊維リユース技術の開発

吸引成形工程ではFig.9に示すように、コアや吸引治具を通してスラリーをコア上に積層させる。吸引開始時には、コアからすり抜ける繊維（以下、流出繊維と呼ぶ）が発生する。この流出繊維は供給タンクに戻す際、回収すれば年間10トンにも及ぶと予測され、廃

棄物ゼロ化のためには、流出繊維のリユース化技術の開発が不可欠である。

Fig.9のように、投入する繊維量に対して流出繊維の割合は、製品の体格差により6～10%の差を生じる。この流出繊維比率が体格により異なることにより、吸引された水や流出繊維をそのまま供給タンクに戻すと、流動製品の体格ごとにスラリー濃度が変化し、吸引成形での重要条件であるスラリー濃度の一定管理が難しくなる。よって異なる体格の製品をランダムに生産しても、スラリー

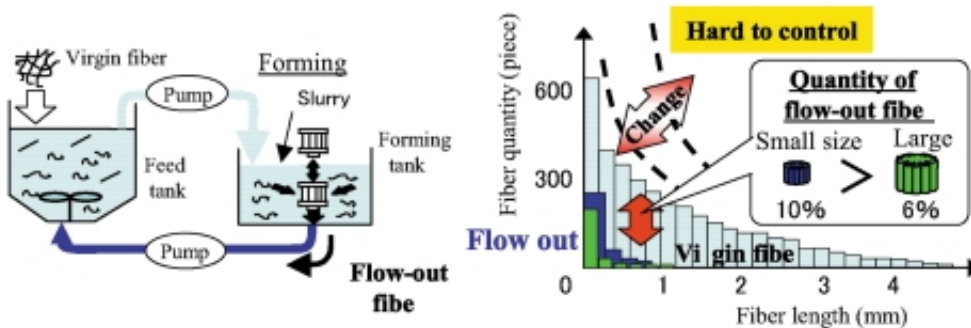


Fig.9 Fiber circulation system and its problem

濃度を一定にするには、流出繊維比率の体格差を低減する(5.1節)ことが必要である。

またFig.9より流出繊維自体の長さは、投入した繊維に対して、短い繊維の比率が高くなっている。これにより、吸引された水や流出繊維をタンクに戻し続けた場合、スラリー中の繊維長がリユースするにつれて短くなる。このため流出繊維量をミニマム化(5.2節)してリユースしてもスラリー中の繊維長分布への影響を最小限とする必要がある。

5.1 流出繊維比率の体格差低減技術

製品体格による流出繊維割合の差は、Fig.10に示すように、スリットを通過する繊維の通過流速と繊維自体が受ける抗力が相関関係を持っていることに起因すると考えた。構想段階では製品体格によらずスラリーの吸引流量を一定にしていたが、どの体格でも繊維の通過流速が一定となるように変更した。具体的には、大きい体格の通過流速に合せ込むことで体格差を解消した。

5.2 流出繊維量のミニマム化

Fig.10より吸引開始時に流出繊維の量が多いことがわかる。これは繊維が積層し始めるまでに、コアの隙間をすり抜ける繊維が多いためである。また製品の体格差を無くすため繊維

の通過流速を遅くしたが、すり抜けやすい吸引初期にさらに通過流速を落としてやれば、繊維が受ける抗力を小さくできコア上に積層しやすいことが考えられる。そこでFig.11に示すように、吸引初期段階に流速を落とす制御法を開発した。

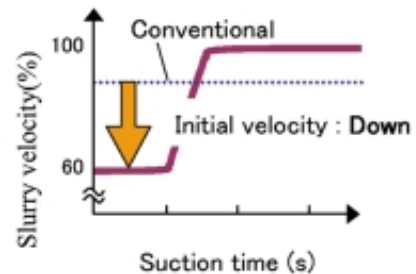


Fig.11 Minimize amount of flow-out fibers (2 step suction)

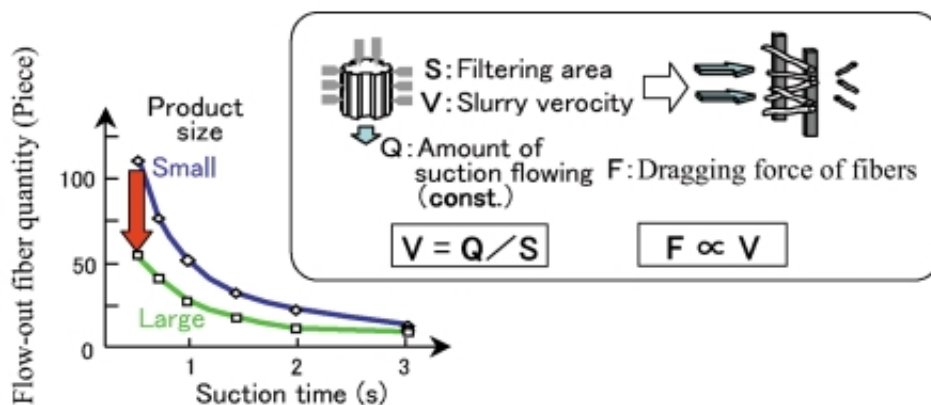


Fig.10 Reduction of the difference of flow-out fibers between different size of the products

なお、繊維がコアの隙間を埋める1秒間の流速を遅くし、その後は流速UPで生産性を下げないよう対策した。この二つの結果、Fig.12のように、製品のどの体格でも投入繊維量に対して、数%の流出繊維量に抑え込むことができた。流出繊維比率数%については、繊維リユースにより繊維自体の長さ分布が変化しないことをシミュレーションにて確認し（無限回リユースでも平均繊維長はほとんど変化しない）、最悪条件下での試作品で品質上問題ないことを確認している。

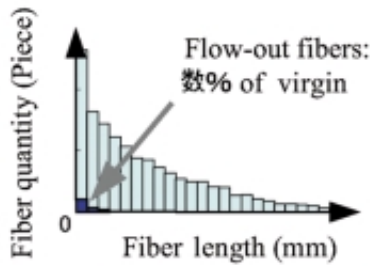


Fig.12 Effect of minimizing flow-out fibers

6. 水分散性フェノールの開発

成形体オイルフィルタは、積層した繊維をフェノール樹脂により結着することで、その立体形状とエンジンオイルの流れ抵抗に耐える濾目保持強度（繊維間隔がつぶれて目が小さくならない）を確保している。

従来の濾紙では、フェノール溶液中に有機溶剤を含むため、紙すき後の水分乾燥と、フェノール含浸後の溶剤乾燥・樹脂硬化の加熱2工程が必要であった。Fig.13に示すような、省エネルギー化と有害物質レスを狙い、加熱工程を一つに統合できる（吸引成形工程からダイレクトに含浸できる）水系フェノール材の採用や、またフェノール樹脂はポットライフを持つこと

から、寿命内で完全に使い切り廃棄物としない工夫が必要である。

繊維結着用の材料は価格および取り扱い性からフェノール樹脂が有効であり、現在フェノール材の改良開発等にも着手している。またフェノール硬化の際には、ホルムアルデヒドやアセトアルデヒドが発生するが、このガスを回収し、工場内で分解処理できる技術を開発し導入している。

6.1 水分散性フェノールの問題

市販の水系フェノール材にて試作テストしたところ、Fig.14に示すようなマイグレーション問題が発生した。マイグレーションとは、樹脂硬化時に水分が濾材表面に移動する際に、樹脂分が水分と一緒に移動し、濾材表面は樹脂が多く、濾材内部は少ないといった不均一な付着状態になってしまうことである。濾材表面の目は詰り、内部の濾目はつぶれて小さくなって、製品性能に大きく影響を及ぼすため、マイグレーションを防止できる新規材料の開発が必要である。

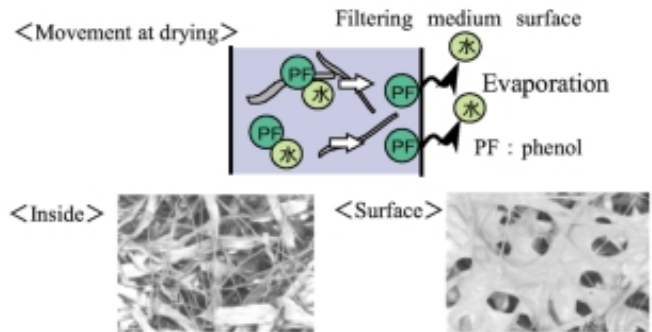


Fig.14 Problem of migration

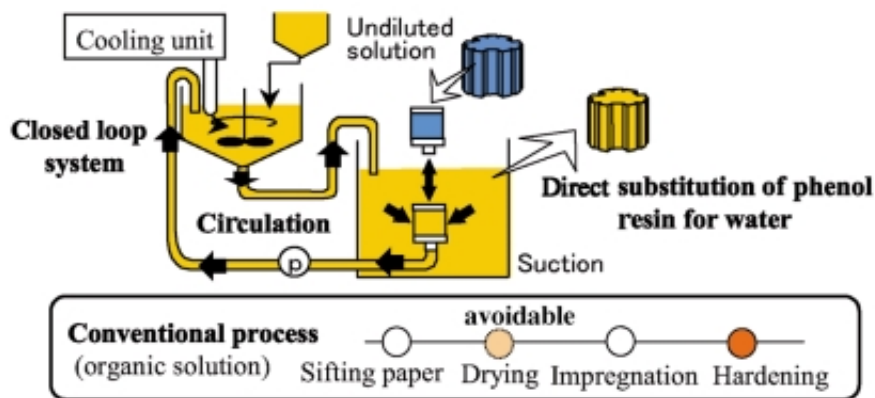


Fig.13 Impregnation of water-soluble phenol resin

6.2 新規材料の開発

マイグレーション対策として、フェノール樹脂と繊維を電氣的に結合する方法を採用した。これはFig.15に示すように、繊維は水中においてOH⁻を選択的に吸着しマイナスイオン化する特徴を生かし、プラスイオン化したフェノール樹脂を、イオン結合により強固かつ安定的に定着させるというものである。

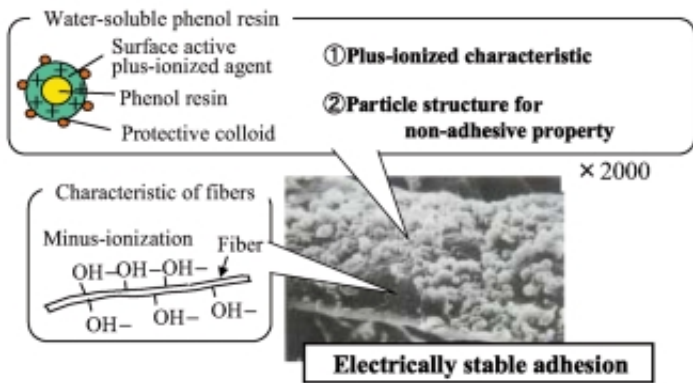


Fig.15 Developed water-soluble phenol resin

今回、樹脂メーカーと共同で開発した水分散性フェノール樹脂は、Fig.15のように樹脂材の周りにプラスイオンを持った界面活性剤を付与した。またその界面活性剤の周りには樹脂粒子の凝集を抑える、保護コロイドを設定している。

流動している製品での水分散性フェノールの付着状態をFig.16に示す。これをみても、濾材表面と内部で

のフェノール樹脂付着状態に大きな差は見られず、マイグレーション対策ができていることがわかる。また樹脂材の沈殿やポットライフ延長（室温5日）も対策でき、Fig.13に示すよう含浸槽でワーク中の水分とフェノール材を置換して濃度が変化しても、順次、原液を追加して濃度調整する槽との間を循環させることで、ポットライフ以下の2日で使い切るような制御ができている。

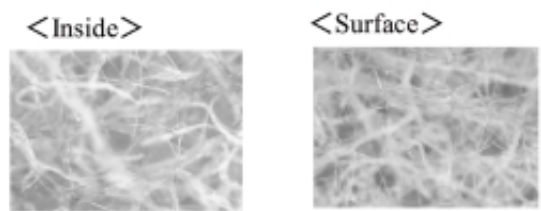


Fig.16 Result of measures against migration

7. おわりに

“成形体オイルフィルタ”の製品開発技術、製造開発技術や環境対応技術の開発により、1998年の生産開始以来、地球温暖化の原因物質となっているCO₂の発生を12,000 t、資源は2,000 tを温存したと推測される。また、埋め立て処分場不足となっている産業廃棄物の低減も含め大きな成果を得ることができた。開発の結果および生産システムの概要をFig.17にまとめる。

成形体オイルフィルタでは、エレメントに金属を使わないため、分離すればケースは鉄くずとしてリサイ

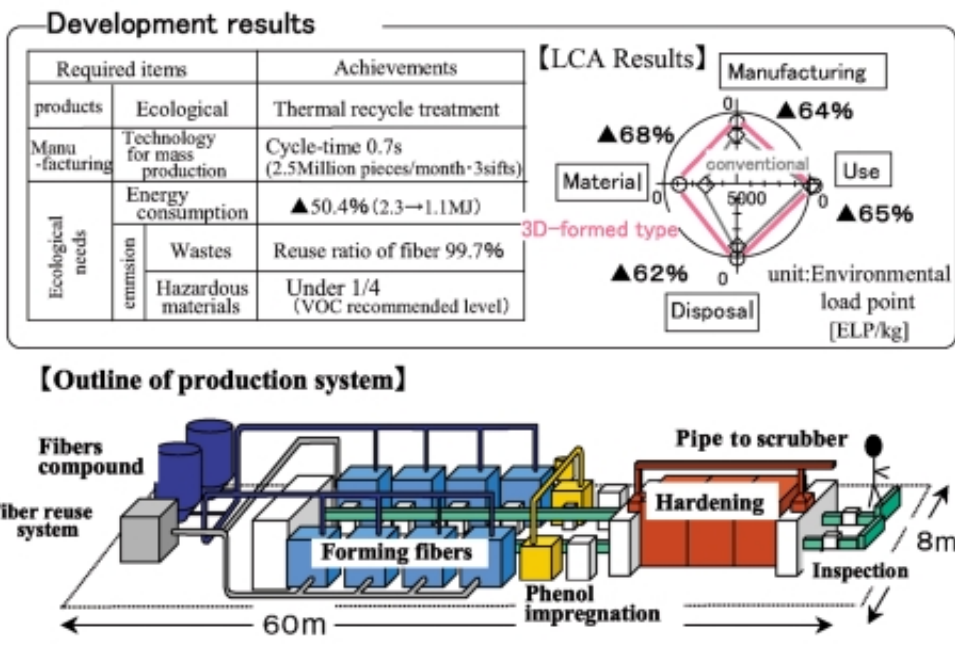


Fig.17 Summary of achievement

クルし、エレメントはサーマルリサイクル処理ができる。またケースから簡単にエレメントを取り出せるよう、Fig.18に示すような缶切り方式の分解治具を開発し、ディーラや部品販売店への展開を開始している。従来、産業廃棄物処理費用として1個当り210円の負担がかかっていたが、本治具でのケース分解作業は2分以内で、ケース等から1円の鉄屑売却収入が得られる。これにより、リサイクルの容易性が増したと言える。



Fig.18 Jig for case disassembling

環境対応では、上述した開発等により、製品ライフサイクル全体の環境負荷量として従来比50%の低減を達成し、繊維やフェノール材のリユース化により工程

内廃棄物レス化、さらにスクラパー装置の開発により有害物質のレス化において極限まで抑えるができた。

この成形体オイルフィルタで開発した技術は、類似の自動車用フィルタ製品での環境対応の標準を示すと共に、消費・廃棄型の製品における環境対応の一つの方向を示せたと考える。

<参考文献>

- 1) 鷲田豊明, 栗山浩一, 竹内憲司: 「環境評価ワークショップ」, 築地書館 (1999)
- 2) BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr.297: Bewertung in Okobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit - Okofaktoren 1997, Bern (1997)
- 3) Begnnet Steen: EPS-Default Valuation of Environmental Impacts from Emission and Use of Resources Version 1996 (1996)
- 4) 永田勝也, 横田隆一郎, 壇野通弥, 前野智春: LCAにおける統合評価手法の開発, 第2回エコバランス国際会議講演要旨集つくば (1996), pp.147-150.



<著者>



中久木 清
(なかくき きよし)
生産技術部
生産システムの開発に従事



花井 嶺郎
(はない みねお)
取締役 工学博士
生産技術部, 生産技術開発部,
材料技術部, 工機部, 阿久比製作所
を担当



原田 浩史
(はらだ ひろし)
生産技術部
生産システムの開発に従事



前川 武治
(まえかわ たけはる)
生産技術部
生産システムの開発に従事



土井 清司
(どい きよし)
豊田紡織(株)第1生産技術部
生産システムの開発および
生産に従事(出向中)



杉浦 正人
(すぎうら まさひと)
豊田紡織(株)第1生産技術部
生産システムの開発および
生産に従事(出向中)